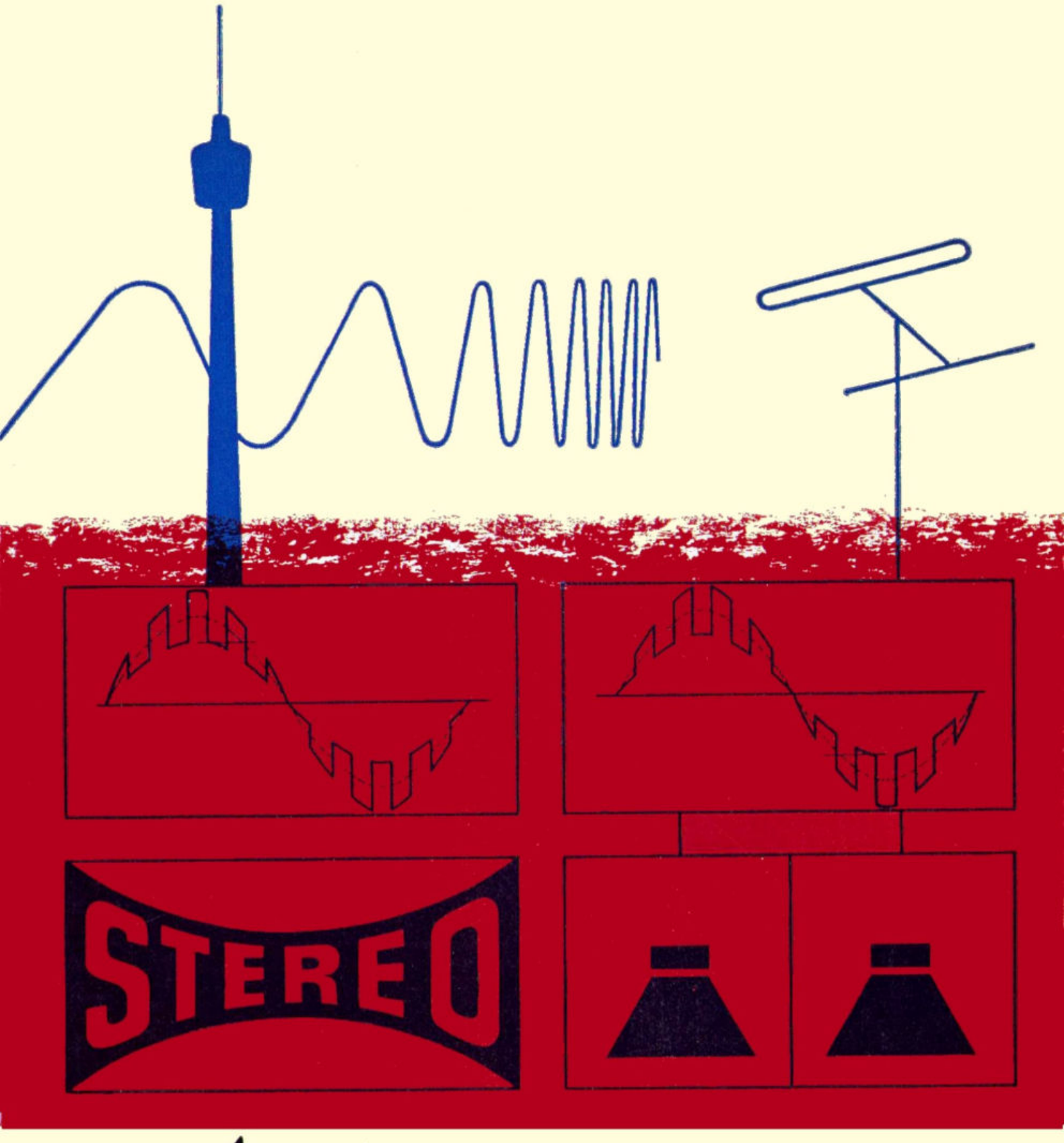
G. W. Schanz

STEREO-HANDBOEK



kader REEKS

KLUWER - DEVENTER

Gescand en gerestaureerd door Jos Verstraten - 2025

STEREO-HANDBOEK

STEREO-HANDBOEK

G. W. SCHANZ

kader REEKS
KLUWER - DEVENTER

Dit boek bevat 156 pagina's en 96 figuren

U.D.C. nr. 534.76:534.88

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1970

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

PHILIPS

Merken van N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken

I S B N 90 201 055 74

Geen garantie wordt gegeven dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooirechten; door deze publicatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend.

VOORBERICHT

De stereotechniek heeft tijdens de afgelopen jaren een steeds bredere toepassing gevonden en is dan ook uit de moderne geluidsregistratietechniek en hiermee verwante gebieden als bijv. de radiotechniek niet meer weg te denken. Dit brengt onvermijdelijk met zich mee, dat iedere technicus die op de een of andere wijze bij de praktische geluidstechniek is betrokken, zich met deze nieuwe techniek vertrouwd moet maken. Natuurlijk ontbreekt het niet aan publikaties op dit gebied. Dit „Stereo-Handboek" is echter bedoeld om in beknopte vorm een overzicht te geven van deze nieuwe techniek, het inzicht in de materie te verdiepen en ten slotte, maar zeker niet in de laatste plaats, om richtlijnen te geven voor het doelmatig beproeven en keuren van stereo-weergeefapparatuur.

Het zal de lezer duidelijk zijn dat de ruimte die een handboek biedt, aan de schrijver beperkingen oplegt. Dit handboek zal dan ook zeker niet op alle vragen een antwoord geven. Wél verschaft het „Stereo-Handboek" zijn lezerskring, waartoe zowel professionele geluidstechnici als in stereotechniek belangstellende amateurs zullen behoren, het nodige basismateriaal. Hierop voortbouwend zal de lezer zonder al te veel moeite tot een dieper inzicht in deze materie kunnen komen.

G. W. Schanz

Augustus 1970.

INHOUD

Voorbericht V

Hoofdstuk 1 Het principe van de stereofonische geluidswaarneming . . 1

1.1 Het waarnemen van de richting van het geluid . . . 4
1.2 Zaalakoestiek 8
1.3 Monofonische of stereofonische weergave? 19

Hoofdstuk 2 LF-stereofonie 24

2.1 Opname 24
2.2 Geluidsdragers 33
2.3 Weergave 46

Hoofdstuk 3 HF-stereofonie 61

3.1 Ontwikkeling 61
3.2 Het pilootsignaalsysteem 63
3.2.1 Het principe 65
3.2.2 Het stereosignaal 67
3.2.3 Het som- en verschilsignaal 69
3.2.4 Het frequentiespectrum van het stereosignaal . 72
3.2.5 Compatibiliteit 75
3.3 Toelichtingen 76
3.3.1 Amplitudemodulatie 76
3.3.2 Modulatieschakelingen 82
3.3.3 Amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf 84

Hoofdstuk 4 Het stereofonisch uitzenden 88

4.1 Intensiteitsstereofonie 89
4.2 De uitsturing van de zender 91
4.2.1 De 0°-richting 91
4.2.2 De —60°-richting 92
4.3 De bandbreedte van de zender 93

Hoofdstuk 5 Het stereofonisch ontvangen 95

5.1 Decodeerorgaan met schakeldetectie 96
5.2 Decodeerorgaan met omhullendendetectie 101
5.3 Decodeerorgaan volgens het matrixprincipe 104
5.4 Indicatieschakelingen 105

Hoofdstuk 6 Het beproeven en keuren van weergeefapparatuur voor LF-stereofonie 108

6.1 Platenspelers 108
6.2 Bandopneemapparaten 114
6.3 Versterkers 116
6.4 Luidsprekers 124

Hoofdstuk 7 Het beproeven en keuren van decodeerorganen voor HF-stereofonie 125

Hoofdstuk 8 De benodigde meet- en onderzoekapparatuur 131

8.1 Algemeen gangbare apparatuur 131
8.1.1 Meetobject en meetgrootheid 132
8.1.2 Inwendige weerstand tegenover eigen stroomverbruik 132
8.1.3 Procentuele miswijzing 134
8.2 De stereogenerator 135
8.2.1 De stereogenerator voor professionele doeleinden 135
8.2.2 De stereogenerator voor service-doeleinden . . 137

Literatuuroverzicht 140
Trefwoordenlijst 144

HOOFDSTUK 1

HET PRINCIPE VAN DE STEREOFONISCHE GELUIDSWAARNEMING

Het is eigenlijk merkwaardig dat men zich in onze moderne tijd weer is gaan bezinnen op een eigenschap, die de mens reeds sedert zijn schepping heeft bezeten: zijn stereofonisch gehoor.

Voor een deel is het aan onze moderne levenswijze toe te schrijven dat dit vermogen, dat voor de mensen uit het verre verleden van zo enorme betekenis was, tot op zekere hoogte „in vergetelheid is geraakt". Oorspronkelijk was het gehoor, met zijn eigenschap van richtingsgevoeligheid, een orgaan dat de mens voor gevaar moest waarschuwen of hem als hulpmiddel moest dienen bij het zoeken naar voedsel.

Een dergelijke waarschuwing of steun was natuurlijk van meer waarde, wanneer de geluidsindruk tevens met een waarneming gepaard ging van de richting waaruit het gevaar dreigde of waarin het voedsel kon worden gevonden. Wanneer wij denken aan het moderne verkeer in de grote steden, heeft ook nu nog de waarschuwingsfunctie van het „richtinghoren" zijn volle bestaansrecht.

Men zou geneigd zijn te menen, dat het vermogen van de mens tot stereofonisch horen op het gebied van de geluidsoverdracht eerst in onze moderne tijd door de techniek is benut. Niets is minder waar, de idee is in het geheel niet nieuw [1]. Reeds in het jaar 1550 stelde de Nederlandse componist Adriaan Willaert aan weerszijden in de kerk twee van elkaar gescheiden koren op. Ook Barokorgels werden in onderling gescheiden gedeelten gebouwd, die op verschillende punten werden opgesteld en gedeeltelijk in overeenstemming met hun plaatsing de benamingen hoofdorgel, voorstuk, bovenstuk, achterpositief, enz. ontvingen. Zo stelde Berlioz bij de eerste uitvoering van zijn Requiem in de Dôme des Invalides vier afzonderlijke orkesten op in de vier hoeken van de zaal en symboliseerde op deze wijze de engelen die uit alle windrichtingen de zielen der gestorvenen tot het laatste oordeel oproepen.

Bij zijn beschouwing van de vele mogelijkheden klanken te kunnen opnemen, versterken en weergeven, vergeet de technicus dikwijls het uit-

eindelijk doel van deze techniek, namelijk de mens, voor wiens oren deze klanken ten slotte zijn bestemd [2]. Aan dit alles ligt een historische ontwikkeling ten grondslag, die ons laat zien welk nauw verband er bestaat tussen de elektroakoestiek en de fysiologische akoestiek.

Reeds verscheidene jaren geleden werkte men aan dezelfde problemen die in onze tijd in het middelpunt van de belangstelling staan en die men algemeen onder de moderne benaming „Hi-Fi" samenvat.

Vóór echter de stereofonie haar intrede in de elektro-akoestiek kon doen, moest men zich met de monofone geluidsoverdracht tevreden stellen. Daarbij streefde men ernaar het z.g. sleutelgateffect dat de weergave met één enkele luidspreker kenmerkt, op te heffen. Fig. 1.1 toont, als voorbeeld van een dergelijke poging, een inrichting [3] die als luidsprekerinstallatie voor woonkamers was gedacht. Zij bestaat uit een hoekkast waarin twee lagetonenluidsprekers zijn gemonteerd, twee afzonderlijke kasten, ieder met een luidspreker met dubbele conus voor het middenregister en de hoge tonen, alsmede een scheidingsfilter dat het toonspectrum in twee ge-

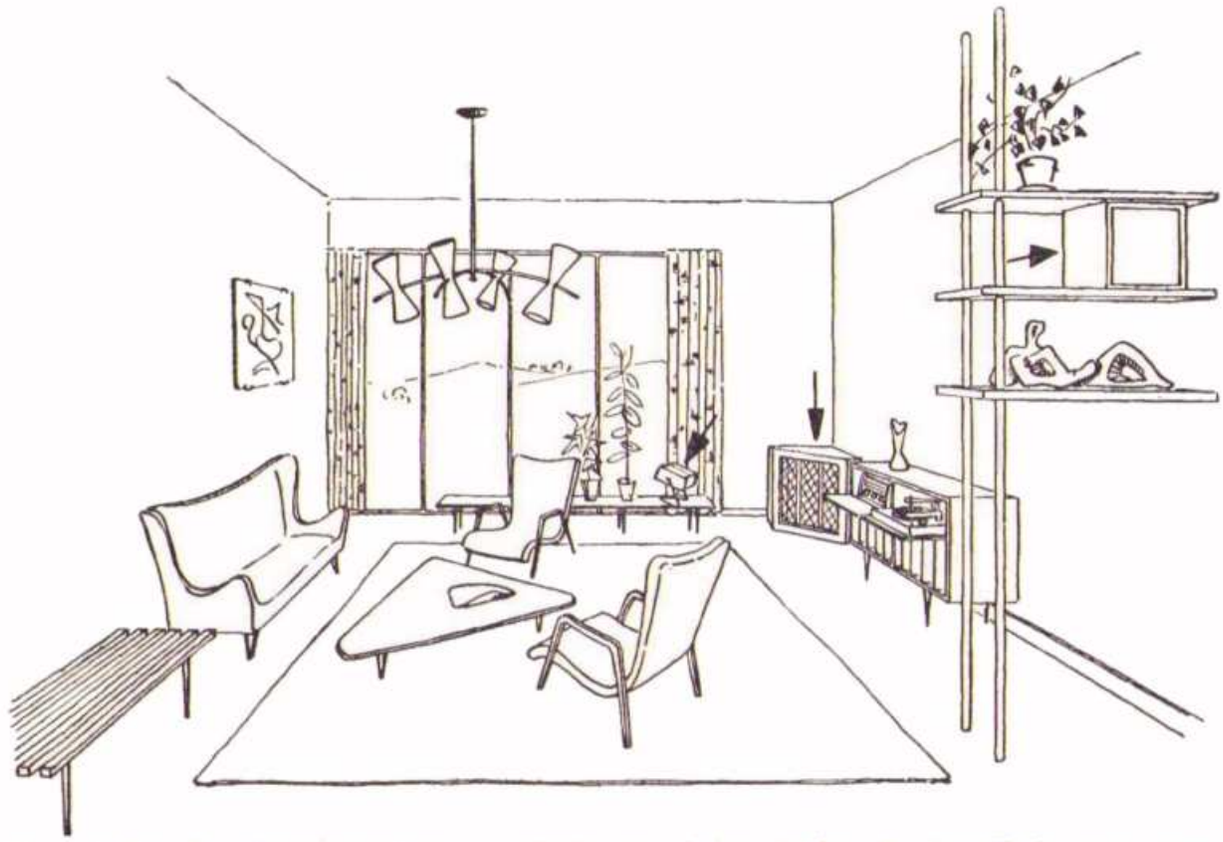


Fig. 1.1. Om het sleutelgateffect op te heffen werd deze luidsprekerinstallatie voor woonvertrekken ontworpen. De pijlen duiden de drie luidsprekerboxen aan.

bieden verdeelt, resp. beneden en boven 420 Hz. Door een juiste opstelling van de hogetonenluidsprekers is het mogelijk het geluid te „diffuseren", zodat de luisteraar in hoofdzaak indirect geluid hoort. Op deze wijze kon men de omstandigheden in een concertzaal enigszins benaderen en het hierboven genoemde „sleutelgateffect" opheffen.

Uit het voorgaande blijkt wel, dat men er in feite voortdurend naar streefde bij de geluidsoverdracht rekening te houden met het stereofonisch karakter van het menselijk gehoor. Wanneer men daarbij door middel van „diffusering" van het geluid het gehoor in zekere zin misleidde, dan mag dit toch niet zonder meer als bedrog worden aangemerkt. Ook monofone installaties konden in hun eenvoudigste uitvoering niet aan de eisen ten aanzien van natuurgetrouwe weergave voldoen. Tegelijk met de stereotechniek ontwikkelde zich in de loop van de tijd de „studiotechniek voor de huiskamer" [4], die ook onder de benaming „Hi-Fi" bekendheid heeft gekregen.

Dat de woorden „Stereo" en „Hi-Fi" dikwijls tot holle leuzen worden gedegradeerd, is een omstandigheid waaraan zich noch de professionele geluidstechnicus, noch de serieus in deze vormen van techniek geïnteresseerde amateur behoeven te storen.

Genoemde technieken behoren ten nauwste met elkaar in verband te worden gezien, wil bij het nastreven van het beoogde doel een bevredigend niveau worden bereikt. Daarbij is het ook absoluut noodzakelijk, dat men zich een goed inzicht vormt in de grondbeginselen van het stereofonisch horen.

Wanneer hier van stereofonisch horen wordt gesproken, dan wordt daarmee bedoeld het horen met *beide* oren van geluid, dat *niet* van een geluidsbron komt, welke in één punt is gelegen· Dit is het geval, als bij het horen een *ruimtelijke* indruk ontstaat. Dit is dan het tegenovergestelde van het monofonisch horen, waarbij met *beide* oren geluid wordt opgevangen van een geluidsbron welke in één punt is gelegen. Hierbij moet er op worden gewezen, dat deze begrippen vooral niet moeten worden gelijkgesteld met *binauraal* resp. *monauraal* horen. Daaronder wordt namelijk het horen met twee oren resp. met één oor verstaan. Het laatste is bijvoorbeeld het geval, wanneer iemand, die aan één oor doof is, geluidsindrukken waarneemt. Ook bij een geluidsopname via één microfoon spreekt men van een monaurale opname. Dit houdt echter niet in, dat de weergave ervan ook monauraal (d.w.z. met één oor) wordt beluisterd.

1.1 Het waarnemen van de richting van het geluid

De basis waarop de nieuwe techniek berust, is het oeroude vermogen van de mens tot richtinghoren. Als we in een prospectus [5] lezen: „De mens heeft van nature een stereofonisch gehoor", dan is daarmee de kern geraakt. En inderdaad is het voor de gemiddelde mens een vanzelfsprekende zaak, dat hij op de geluiden in de wereld om hem heen reageert op de wijze die hem van nature is gegeven. Hoe zou hij anders kunnen? Maar voor een goed inzicht in het wezen van de stereofonie is ook wetenschappelijke kennis t.a.v. het richtinghoren vereist.

Ten eerste dient te worden vastgesteld, dat de stereofonie meer inhoudt dan de mogelijkheid tot „trucage" [6]. Het is de lezer zeker wel eens opgevallen dat zijn gehoor niet alleen een geluidsindruk waarneemt, maar tevens de richting bepaalt, waaruit deze komt. Wanneer men wordt aangesproken, wendt men zich naar de spreker. Ook kan men zelfs met gesloten ogen waarnemen, dat bijv. een auto of een tram van links nadert en zich daarna weer naar rechts verwijdert. Men neemt dus de geluiden die om ons heen ontstaan, met *twee* oren waar. Het ene oor registreert deze geluiden geheel gescheiden van het andere.

Het menselijk gehoor heeft verder nog enige bijzondere eigenschappen, waarmee bij de beoordeling van geluidsprocédé's en geluidswaarneming rekening moet worden gehouden [7]. In de eerste plaats is de gevoeligheid van het gehoor sterk afhankelijk van de frequentie van het waargenomen geluid, zoals fig. 1.2 laat zien [8]. De in deze figuur afgebeelde krommen worden gehoorkrommen of isofonen genoemd. De gehoorkromme voor 0 dB is identiek aan de gehoordrempel. Ook blijkt dat de krommen bij hoge geluidssterkte vlakker verlopen, dus dat de afhankelijkheid van de frequentie minder sterk aan de dag treedt. De voor het menselijk oor waarneembare frequenties liggen ongeveer tussen 20 en 20 000 Hz. In het bijzonder de bovenste grens varieert sterk met de leeftijd; het vermogen om hoge frequenties waar te nemen, loopt bij de ouder wordende mens vrij snel terug.

Bij geluidssterkten, resp. geluidsdrukniveaus van meer dan ca. 120 phon doet zich in het gehoororgaan een gevoelsindruk voor die, bij verder toenemende sterkte, een gewaarwording van pijn veroorzaakt. Ten einde in staat te zijn de eigenschappen van het gehoor te meten, heeft men de eenheid van geluidssterkte ingevoerd [7]. Deze eenheid berust op een z.g. vergelijking van geluidssterkten. Men gebruikt een vergelijkingstoon van

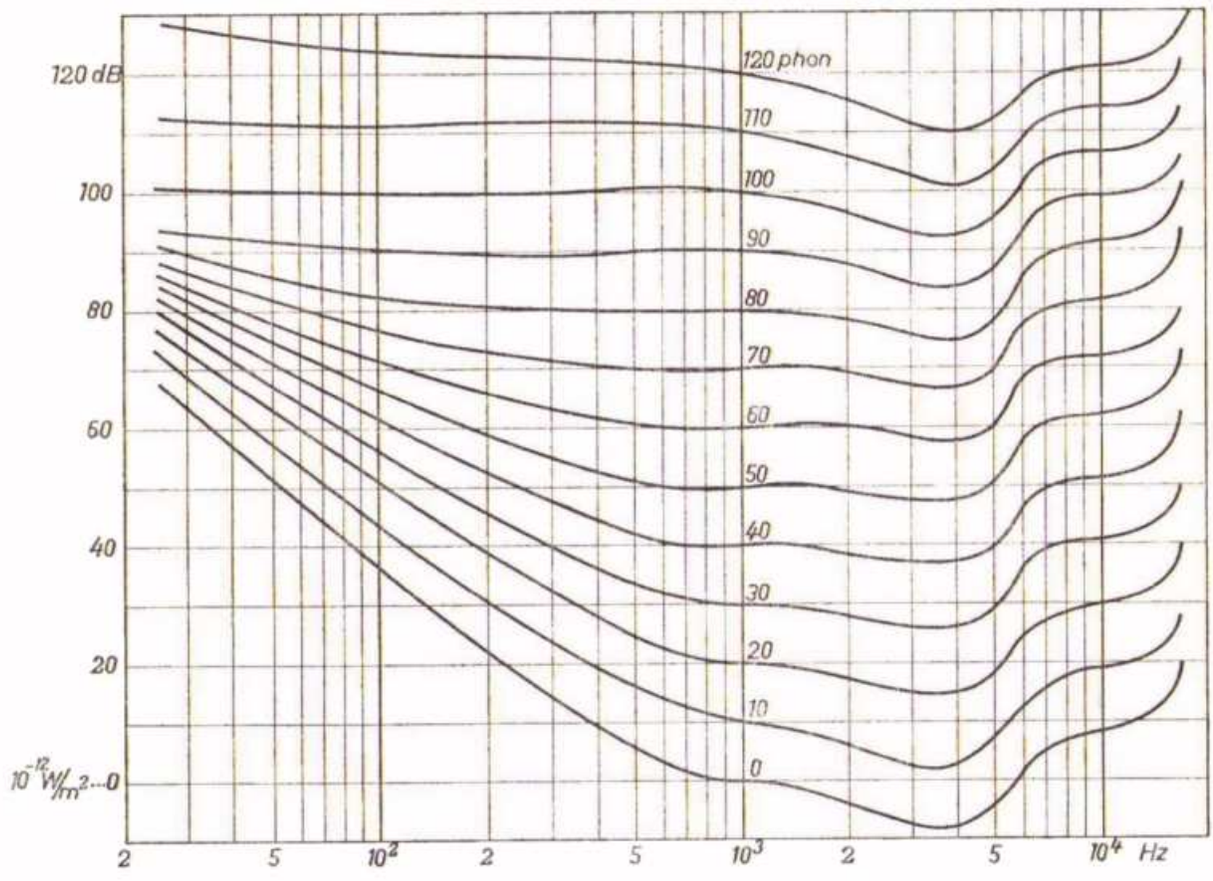


Fig. 1.2. Gehoorkrommen voor gelijke geluidssterkte.

1000 Hz waaraan een zodanige geluidsdruk wordt gegeven, dat hij in sterkte gelijk wordt aan het te meten geluid. Daarbij moeten bovendien nog bepaalde voorwaarden in acht worden genomen. De geluidssterkte wordt dan uitgedrukt in de waarde (in phon), waarmee de geluidsdruk van de vergelijkingstoon boven de geluidsdruk bij de gehoordrempel (0 phon) ligt. Een goede indruk geeft tabel 1.1, waarin voorbeelden van verschillende geluidsbronnen met de daarbij behorende geluidssterkte in phon zijn gegeven [9]. Een phon staat gelijk aan een decibel boven de drempelwaarde van geluidssterkte ($1 \cdot 10^{-16}$ W/cm²) resp. geluidsdruk ($2 \cdot 10^{-4}$ μbar) bij 1000 Hz. Dit geldt met een redelijke benadering ook nog tussen ongeveer 700 en 1800 Hz. Voor de overige frequenties kunnen overeenkomstige waarden uit de grafiek in fig. 1.2 worden afgelezen.

Op grond van het voorafgaande is men geneigd om, enigszins voorbarig, te concluderen dat er een nauw verband bestaat tussen het richtinghoren en de geluidsintensiteit. Inderdaad verklaarde men aanvankelijk het richtinghoren aan de hand van de verhoudingen of verschillen in de geluidsintensi-

TABEL 1.1

Phon	Voorbeelden van geluidsbronnen alsmede de gehoorgrenzen
130	Gewaarwording van pijn
120	Vliegtuig op 3 m afstand; grote pauk op 1 m afstand
110	Ketelsmid
100	Motorfiets zonder geluiddemper
90	Persluchthamer en autoclaxons op 1 m afstand
80	Fabriekshallen met zeer veel lawaai, luid roepen op 1 m afstand
70	Luid spreken; straat met veel lawaai; luide luidsprekerweergave
60	Normale luidsprekerweergave
50	Rustige straat; normaal gesprek op 1 m afstand
40	Het verscheuren van papier op 1 m afstand
30	Normaal fluisteren op 1 m afstand
20	Rustige tuin; het tikken van klokken; zachte regen buiten op het land
10	Het geruis van bladeren; zacht fluisteren op 3 m afstand
0	Gehoordrempel

teit [1]. Bevindt zich namelijk een geluidsbron buiten het vlak van symmetrie van het hoofd, dan zijn de geluidsindrukken in beide oren *niet* gelijk. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt door het „stuwend" effect van het hoofd aan de zijde waar het oor naar de geluidsbron is toegewend en gedeeltelijk door de „afschermende" werking van het hoofd aan de afgewende zijde. Het intensiteitsverschil neemt in het algemeen in dezelfde mate toe als waarmee zich de geluidsbron van het vlak van symmetrie van het hoofd verwijdert.

In ieder geval blijkt dat de grootte van deze verschillen niet alleen wordt bepaald door de hoek tussen de richting van de geluidsbron en het vlak van symmetrie van het hoofd, maar eerder nog zeer sterk wordt bepaald door het karakter van de optredende geluidsindruk. Bij zuivere tonen van lage frequenties heerst er tussen beide oren praktisch geen verschil in intensiteit. Daarentegen kan dit bij zuivere tonen van hogere frequenties reeds aanzienlijk zijn. Dit wordt door fig. 1.3 geïllustreerd. In deze afbeelding zijn de intensiteitsveranderingen aan beide oren voorgesteld, die zich voordoen, wanneer een geluidsbron, welke een sinusvormige toonfrequentie uitzendt, in een cirkel rondom het hoofd wordt bewogen. Indien echter de samenstelling van de geluidsindrukken steeds verandert, zoals bijv. bij spreken het geval is, dan verandert ook het intensiteitsverschil tussen beide oren voortdurend. Men kan dan alleen van een gemiddeld intensiteitsverschil spreken. Verder is er nog een factor die het richtinghoren beïnvloedt, nl. het tijdsverschil waarmee het geluid beide oren bereikt. De oorzaak hiervan is gelegen in de ongelijke afstanden tussen de geluidsbron enerzijds en het

ene resp. het andere oor anderzijds. Hierdoor komt het dat bij het natuurlijk richtinghoren tijd- en intensiteitsverschillen praktisch altijd gezamenlijk optreden. Onderzoekingen hebben dit ook bevestigd [1, 10].

Het wordt nu duidelijk dat het bij het richtinghoren gaat om het lokaliseren van geluidsbronnen. Dit oriënteringsvermogen van de oren en derhalve ook het vermogen tot lokaliseren van geluidsbronnen laten in de drie dimensies grote verschillen zien [11]. Uitgaande van de drie dimensies onderscheidt men:

Dieptelokalisering	=	afstand van de geluidsbron
Hoogtelokalisering	=	richting in het verticale vlak
Zijdelingse lokalisering	=	richting in het horizontale vlak

Zowel de diepte- als de hoogtelokalisering zijn voor het richtinghoren van geen praktische betekenis. Bij de dieptelokalisering schijnt men bij het waarnemen van geluid in de vrije ruimte uit de verandering van de klank-

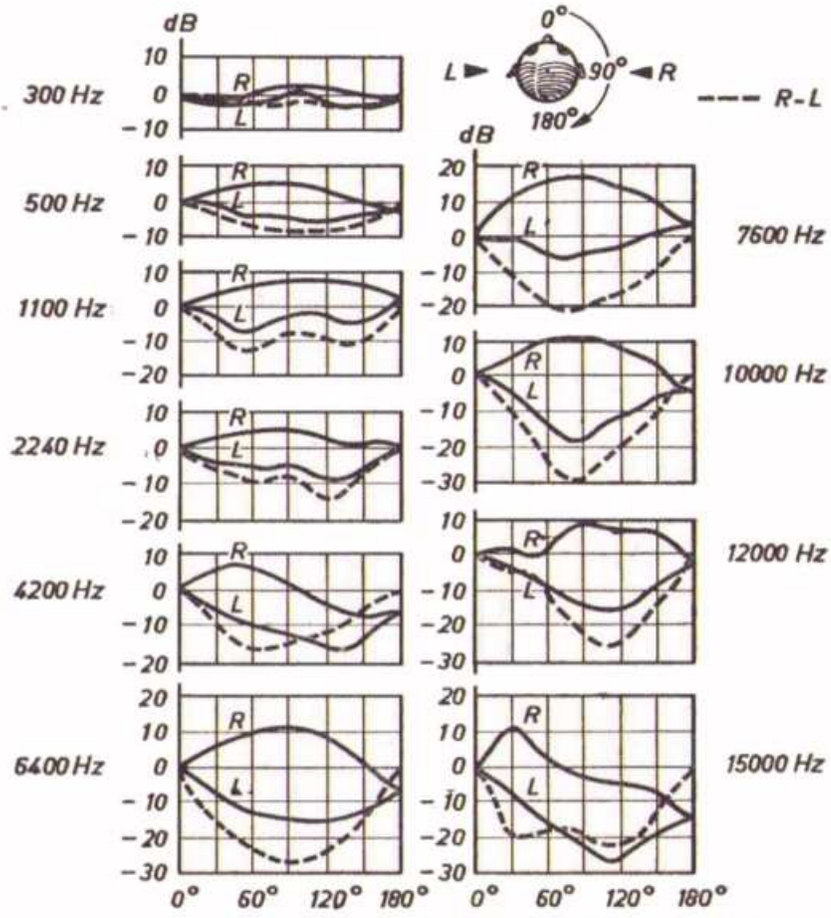


Fig. 1.3. Intensiteitsverschillen zijn niet alleen afhankelijk van de hoek tussen de richting van de geluidsbron en het vlak van symmetrie van het hoofd. Ook het karakter van de optredende geluidsindruk heeft hierop een grote invloed.

kleur de afstand van de geluidsbron af te leiden. Men moet daarbij echter reeds eerder het klankbeeld van de geluidsbron hebben gehoord, daar anders de mogelijkheid tot een juiste beoordeling van de afstand twijfelachtig is. T.a.v. een langdurig aangehouden toon met een sinusvormige frequentie of zelfs bij de knal van een explosie is er nauwelijks sprake van een betrouwbaar waarnemingsvermogen voor de afstand. Bij de waarneming van geluid in besloten ruimten wordt de gewaarwording van de afstand bovendien sterk beïnvloed door de verhouding tussen het directe en het indirecte geluid. Hoe meer nagalm bijv. een zaal heeft, hoe meer de waarneming van de afstand verloren gaat, in het bijzonder wanneer de geluidsbron ver verwijderd is.

Niet minder gebrekkig is het vermogen tot hoogtelokalisering. Hier hebben proefnemingen aangetoond, dat de richtingsbepaling in de hoogte door middel van schuinhouden van het hoofd voor het gehoororgaan wordt teruggebracht tot een zijdelingse lokalisering in het horizontale vlak. Natuurlijk kan de hoogtelokalisering sterk door visuele indrukken worden beïnvloed [8]. In dit verband wil ik herinneren aan de in het plafond van theaters en bioscopen geplaatste luidsprekers, die moeten dienen voor het overbrengen van klokgelui, luchtalarm enz. Hierbij gaat het echter in hoofdzaak om het teweegbrengen van speciale akoestische effecten, die door de gebeurtenissen op het podium of op het filmdoek worden ondersteund.

Het belangrijkste voor het richtinghoren is de zijdelingse oriëntering. Hierbij werken de beide oren samen, waarbij men zich moet voorstellen dat zij in een horizontaal vlak zijn geplaatst. Van beslissende betekenis zijn in dit verband de verschillen in tijd *en* intensiteit, waarmee het geluid beide oren bereikt. Het gehoor bezit hiervoor een uitgesproken gevoeligheid.

1.2. Zaalakoestiek

Aangezien de stereotechniek in hoofdzaak zal moeten worden toegepast in besloten ruimten (zalen, woonkamers), is het voor de geluidstechnicus van belang zich met de akoestiek in dit soort ruimten (zaalakoestiek) vertrouwd te maken. Het is niet overdreven te stellen dat het bij het elektrisch weergeven van muziek en spraak sedert enige jaren is gelukt een dergelijk hoog kwaliteitsniveau te bereiken, dat zelfs geoefende en uiterst kritische luisteraars de weergave nauwelijks van het origineel kunnen onderscheiden [8]. Ook mag het als een belangrijke mijlpaal in de ontwikkeling van de elektro-akoestiek worden gezien, dat vooraanstaande musici niet alleen

luidsprekers en alles wat daarbij behoort in de concertzaal toelaten, maar zich zelfs graag van deze hulpmiddelen bedienen, om aan hun muzikale prestatie de diepte te geven, die zonder deze hulpmiddelen in de betrokken zaal niet zou worden verkregen [12].

In de beschouwingen van paragraaf 1.1 werd er stilzwijgend van uitgegaan, dat het geluid zich van de geluidsbron uitgaande zonder verdere beïnvloeding van buiten af naar alle richtingen kon verspreiden. Door de wanden die een vertrek begrenzen (onverschillig of dit een woonkamer of een concertzaal is), wordt echter de verbreiding van de geluidsgolven verhinderd. De energie van de geluidsgolven wordt door de wanden gedeeltelijk teruggekaatst [1, 8]. De in een vertrek aanwezige toehoorders horen van het door de geluidsbron veroorzaakte geluid slechts een zeer gering gedeelte rechtstreeks (direct geluid). Veruit het merendeel van het door de toehoorders opgevangen geluid is indirect van karakter en bestaat uit de geluidsgolven die door de wanden worden gereflecteerd (indirect geluid). Dientengevolge klinken spraak en muziek in besloten ruimten veel luider dan in de vrije ruimte, waar men door het vrijwel volledig ontbreken van reflecties alleen het directe geluid waarneemt.

Het directe geluid is karakteristiek voor de geluidsbron op zich zelf. Het belichaamt de eigenlijke informatie, de artistieke prestatie van bijv. een uitvoerend kunstenaar. Het is aan het vermogen tot richtinghoren toe te schrijven dat de toehoorders in het directe geluid bijv. de plaatsing van een orkest in ruimtelijk opzicht of de beweging van toneelspelers over het podium enz. langs akoestische weg waarnemen. Voor de weergave van het geluid volgt daaruit dat de luidsprekers in het belang van een goede kwaliteit het directe geluid met zijn natuurlijk klankspectrum, met zijn natuurlijke dynamiek alsook stereofonisch juist moeten weergeven.

Ofschoon het indirecte geluid eveneens uit de geluidsbron voortkomt, is dit in de eerste plaats karakteristiek voor de zaalakoestiek. Het indirecte geluid onderscheidt zich van het directe geluid op drie punten. Ten eerste komt het niet uit een bepaalde richting, maar uit alle richtingen. Men zegt daarom dat het indirecte geluid diffuus is. Dit is des te meer het geval naarmate de wanden het geluid sterker naar alle richtingen verspreiden en zij het geluid minder absorberen. Daar echter het indirecte geluid diffuus is, heeft het ook overal in het vertrek ongeveer dezelfde intensiteit.

Een verder verschil is hierin gelegen, dat het indirecte geluid juist door de reflecties een langere weg aflegt dan het directe geluid en zodoende ten aanzien hiervan steeds vertraagd is. De grootte van deze vertraging is

afhankelijk van de eigenschappen van de desbetreffende zaal. Niettemin is reeds een geringe vertraging van het gereflecteerde geluid voldoende om de invloed hiervan op het richtinghoren met behulp van het directe geluid uit te schakelen.

Een derde onderscheid bestaat daarin, dat het directe geluid bijna onmiddellijk verdwijnt, wanneer de geluidsbron ophoudt geluid te produceren. Daartegenover klinkt het indirecte geluid een bepaalde tijd na. Deze tijd hangt af van de mate waarin het geluid bij iedere afzonderlijke reflectie door de wanden wordt geabsorbeerd. Daarbij ondervindt het geluid op zijn weg door de lucht een demping, die naarmate de frequenties hoger worden, toeneemt. Hoe geringer nu de absorptie is, hoe intensiever (krachtiger) en diffuser het geluid is en hoe langer het duurt alvorens het is weggeëbd.

Deze verschijnselen worden gekarakteriseerd door het begrip nagalmtijd. Dit is de tijd, die het geluid, na het uitschakelen van de geluidsbron, nodig heeft om tot het miljoenste gedeelte van de oorspronkelijke geluidsdichtheid of tot een duizendste gedeelte van de aanvankelijke geluidsdruk af te nemen [7]. Fig. 1.4 toont de optimale nagalmtijd van verschillende soorten geluid, afhankelijk van het volume van de omsloten ruimte.

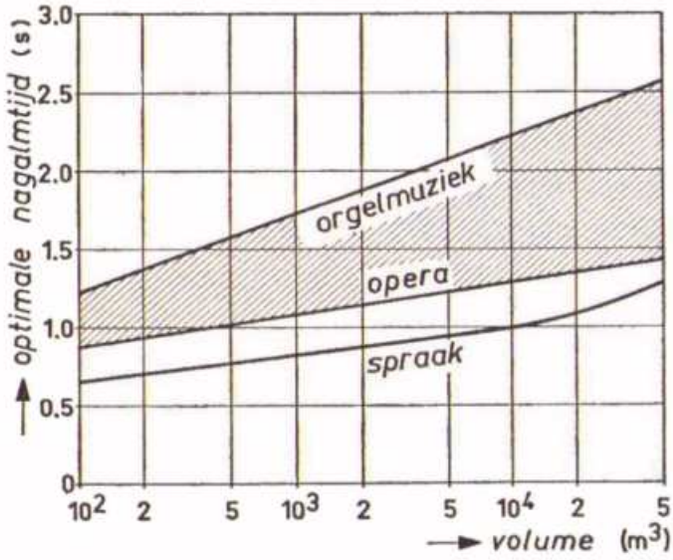


Fig. 1.4. De relatie tussen de optimale nagalmtijd voor verschillende soorten geluid en het volume van het vertrek.

In het algemeen neemt de nagalmtijd toe met de grootte van deze ruimte, daar het volume sneller toeneemt dan de oppervlakte der wanden. Voor de optimale nagalmtijd bestaan empirische waarden, die afhangen van de grootte van de zaal alsook van het karakter van het akoestisch gebodene. De grafische voorstellingen in fig. 1.4 gelden voor 500 Hz. Nu zijn echter

de specifieke akoestische absorptiecoëfficiënten van de verschillende materialen, waaruit de wanden bestaan resp. waarmee de wanden zijn bekleed, afhankelijk van de frequentie. Daardoor bezit ook ieder vertrek of iedere zaal een eigen, individuele, klankkleur. In dit verband bestaan dan ook grote verschillen tussen bijv. houten en stenen gebouwen. Een vertrek met een glazen dak of met grote ramen bezit een korte nagalmtijd voor lage frequenties, daar het glas deze voor het overgrote gedeelte naar buiten doorlaat. Daarnaast veroorzaakt het in een zaal aanwezige publiek een niet onbelangrijke absorptie van geluid. Om nu te verzekeren dat de akoestiek van een dergelijke zaal niet te sterk afhankelijk is van de mate waarin zij bezet wordt, overtrekt men de zitplaatsen bijvoorbeeld met dusdanige materialen, dat deze een ongeveer gelijke absorptie bezitten, ongeacht of zij door publiek worden bezet of niet. Zo is men ook gekomen tot een op het karakter van het gebodene afgestemde frequentie-afhankelijkheid van de nagalmtijd, waarvan fig. 1.5 een indruk geeft. Daarin is de nagalmtijd bij 500 Hz gelijkgesteld aan 1. Men ziet ook dat de nagalmtijd voor de lage frequenties iets groter moet zijn, hetgeen voortvloeit uit de eigenschappen van het menselijk gehoor (zie fig. 1.2).

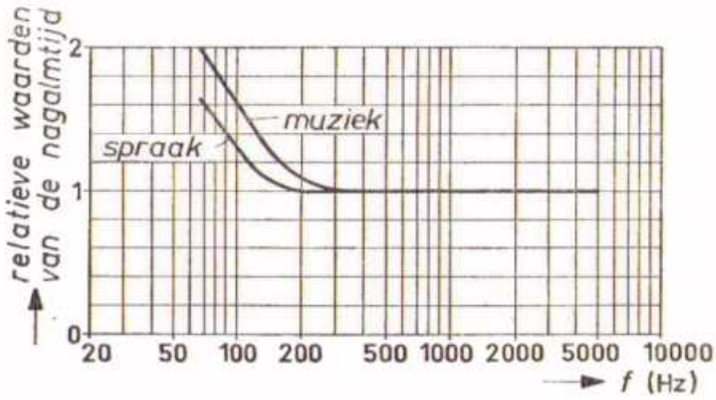


Fig. 1.5. De gunstigste frequentie-afhankelijkheid van de nagalmtijd, rekening houdend met de geaardheid van het geluid (spraak, muziek).

Als de nagalmtijd niet met de gewenste waarden overeenkomt, dan kan men deze door het gebruik van geschikte bekledingen voor de betrokken oppervlakken veranderen. In het algemeen is de nagalmtijd bij lage frequenties te lang, daarentegen bij hoge frequenties dikwijls al gauw te kort. De oorzaak is gelegen in de poreusheid van de meeste bouwmaterialen. Het geluid wordt in de poriën en de kanalen van het materiaal door wrijving in warmte omgezet. Tevens neemt bij deze stoffen de absorptie met de frequentie toe. In tabel 1.2 is een overzicht gegeven van de specifieke akoestische absorptiecoëfficiënten van verschillende materialen [7].

TABEL 1.2

Materiaal	128 Hz	512 Hz	2048 Hz
Bakstenen muur, onbewerkt	0,024	0,03	0,05
Bakstenen muur, gepleisterd	0,024	0,06	0,06
Parket	0,03	0,06	0,10
Linoleum	0,02	0,03	0,04
Glas	0,04	0,03	0,02
Houten lambrizering	0,09	0,17	0,15
Multiplex (20 mm afstand van de wand)	0,07	0,28	0,10
Tapijt (10 mm op estrik)	0,09	0,21	0,27
Tapijt (10 mm op 3 mm vilt)	0,11	0,37	0,27
Gordijn	0,07	0,49	0,66
Personen bij normale plaatsing (per m^2)	0,72	0,95	1,00

Uit deze tabel blijkt onmiddellijk zeer duidelijk de frequentie-afhankelijkheid van de absorptie. Een misschien nog iets sprekender beeld hiervan geeft fig. 1.6, die, op overeenkomstige wijze als tabel 1.2, de absorptie als functie van de frequentie, hier in percentages, laat zien [13]. Uit deze figuur blijkt nog duidelijker, dat er mogelijkheden zijn om de akoestische eigenschappen van een zaal of vertrek door een juiste keuze van de materialen voor de bouw en de afwerking te beïnvloeden.

Met betrekking tot fig. 1.5 werd er reeds op gewezen, dat er, al naar gelang het karakter van het akoestisch gebodene (spraak, muziek enz.), verschillen bestaan wat de gunstigste nagalmtijd betreft. Het zou, om maar eens iets te noemen, volkomen fout zijn om de nagalm van een zaal volledig te willen opheffen of zo groot mogelijk te willen maken. Er bestaan namelijk fundamentele verschillen tussen de akoestiek van bijvoorbeeld een zaal voor lezingen en voordrachten (spraak) en die van een zaal voor muziekuitvoeringen [8].

Weliswaar is voor spraak de door het indirecte geluid verkregen verhoging van de geluidssterkte gewenst, maar daarentegen niet de daarmee gepaard gaande nagalm, die de verstaanbaarheid vermindert. Indirect geluid dat ongeveer binnen 50 ms na het directe geluid het oor bereikt, levert een nuttige bijdrage tot de geluidssterkte, zonder aan de richtingsindruk of de verstaanbaarheid afbreuk te doen. Indirect geluid met een vertraging van meer dan 50 ms heeft daarentegen een nadelige invloed op de verstaanbaarheid. De op elkaar volgende spraakklanken vloeien dan namelijk in elkaar. In zalen voor theatervoorstellingen en voordrachten gaat men daarom dan zodanig te werk, dat reflecties met een vertraging van minder dan

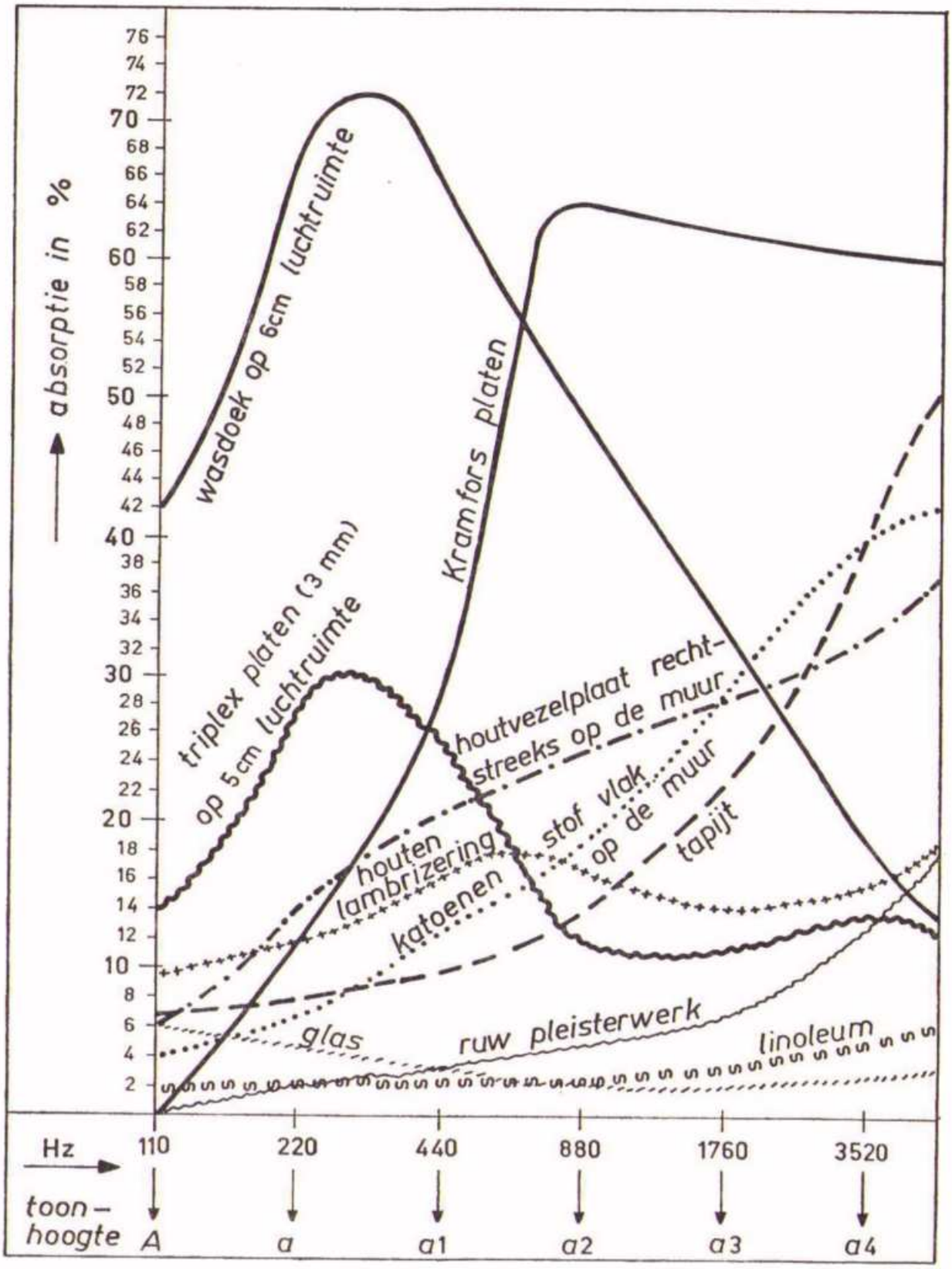


Fig. 1.6. Frequentie-afhankelijkheid van de absorptie van verschillende stoffen.

50 ms indien mogelijk ten volle op het publiek worden gericht, terwijl de reflecties met een grotere vertraging zoveel mogelijk worden gedempt.

Bij muziek hebben diffuusheid en nagalm zeer bepaald een belangrijk aandeel in de klankschoonheid. Zo heeft bijvoorbeeld een symfonieorkest een grote zaal en een nagalmtijd van 1,8 tot 2,5 seconden nodig om volledig tot zijn recht te komen. Een kerkorgel heeft zelfs een nog grotere ruimte en een nog langere nagalmtijd nodig.

Het is gebleken, dat de nagalmtijd een zeer belangrijk criterium is bij het ontwerpen en beoordelen van zalen enz. [1], al is dit criterium alleen niet voldoende om voor een zaal volledig het akoestisch karakter te bepalen. Zo kunnen bijvoorbeeld een badkamer en een kerkschip dezelfde nagalmtijd hebben, terwijl toch de van beide verkregen akoestische indrukken principieel verschillen. Voor de man van de praktijk komt het in hoofdzaak aan op de elektro-akoestische beheersing van de akoestiek van begrensde ruimten. De afzonderlijke aspecten van de akoestische verhoudingen in gesloten ruimten, die daarvoor de fundamentele uitgangspunten vormen, kunnen in de drie navolgende punten worden samengevat [8].

1. Er bestaat een fundamenteel verschil tussen direct en indirect geluid. Het directe geluid brengt de stereofonische indruk over van datgene, wat op het toneel of op het orkestpodium gebeurt. Het geeft tot op zekere hoogte aan het geluid een „definitie".
   Het indirecte geluid brengt door klankkleur, diffuusheid en nagalm een indruk over van het karakter en de grootte van de zaal. Dit gedeelte geeft aan het geluid een ruimtelijk karakter en aan de muziek haar klankrijkdom. Dit is des te meer het geval, naarmate dit geluid meer diffuus is. Is het indirecte geluid met meer dan 50 ms vertraagd, dan wordt zonder twijfel de verstaanbaarheid van het gesproken woord nadelig beïnvloed.
2. De vertraging van het indirecte geluid brengt een indruk over van de grootte van de betrokken ruimte (evt. zaal).
3. De verhouding in geluidssterkte tussen het directe en het indirecte geluid bepaalt de indruk van de afstand.

Ten einde de verstaanbaarheid van spraak in een besloten ruimte te bepalen, gaat men als volgt te werk.

Door een spreker worden genormaliseerde, betekenisloze lettergrepen (logatomen) uitgesproken en door waarnemers beluisterd. Het percentage van het totale aantal lettergrepen, dat juist is verstaan, wordt aangeduid

als „lettergreepverstaanbaarheid". Fig. 1.7 toont de lettergreepverstaanbaarheid als functie van het frequentiegebied, fig. 1.8 idem als functie van nagalmtijd [7]. De verstaanbaarheid is ook afhankelijk van de breedte van de weergegeven frequentieband. De getrokken kromme in fig. 1.7 geeft de waarden waarbij de lage frequenties worden afgesneden, de gestippelde kromme geeft waarden voor de afsnijding van de hoge frequenties. Men ziet duidelijk, dat de lage frequenties, zonder merkbare afbreuk aan de verstaanbaarheid, zeer ver kunnen worden onderdrukt. Toch neemt het oor ongetwijfeld een vermindering waar van de kwaliteit van de muziek, als de frequentieband nauwer wordt gemaakt, zoals in fig. 1.9 is weergegeven.

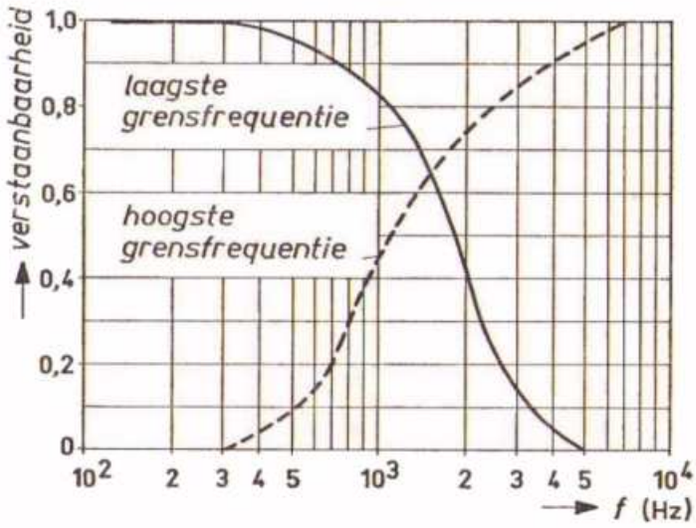


Fig. 1.7. De relatie tussen de lettergreepverstaanbaarheid en het frequentiegebied.

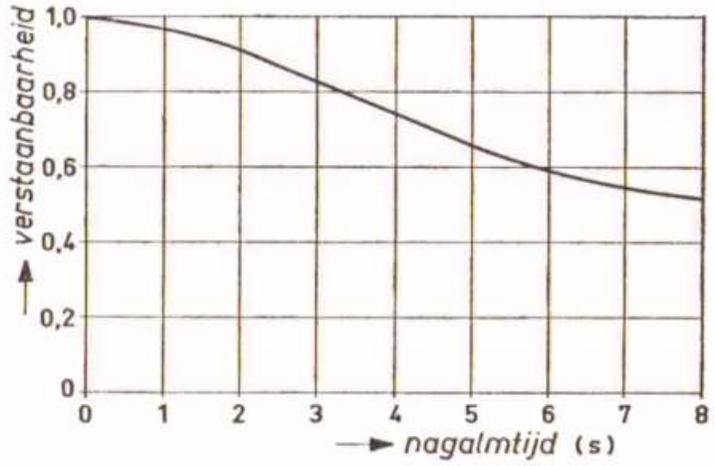


Fig. 1.8. De relatie tussen de lettergreepverstaanbaarheid en de nagalmtijd.

Hieruit valt af te leiden dat de lage frequenties voor de beoordeling van de kwaliteit belangrijk zijn. Een algemeen verbreide regel zegt, dat het produkt van de laagste en de hoogste grensfrequenties 400 000 moet bedragen, om de gunstigste muzikale indruk te verkrijgen.

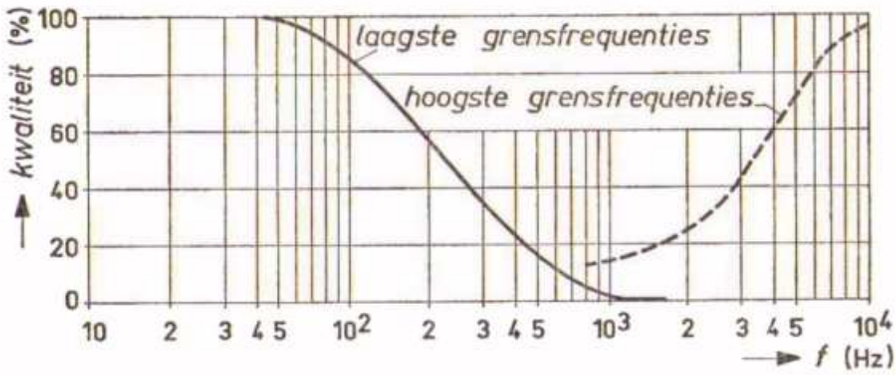


Fig. 1.9. De invloed van de hoogste en de laagste grensfrequenties op de kwaliteit.

Uit het voorafgaande blijkt dat er kenmerkende verschillen bestaan tussen de akoestiek van zalen voor lezingen en voordrachten en die van zalen voor muziekuitvoeringen. Fig. 1.10 laat duidelijk de invloed zien van lange nagalmtijden op de verstaanbaarheid van spraak, waarnaast zij tevens een voorstelling bevat van een elektro-akoestische methode ter onderdrukking van de nadelige werking van de nagalm. Fig. 1.10a laat zien dat een spreker in een grote zaal met een lange nagalmtijd op de voorste rijen nog

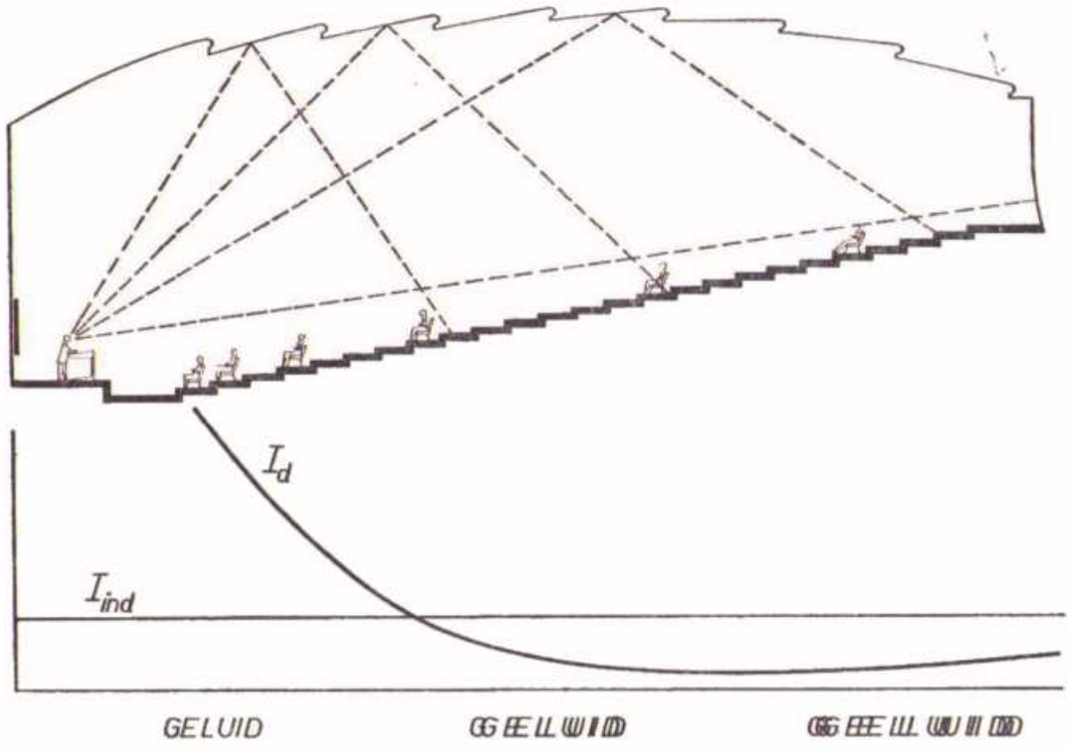


Fig. 1.10a. De invloed van de nagalmtijd op de verstaanbaarheid van gesproken woord. Een spreker wordt in een grote zaal met een lange nagalmtijd alleen in de voorste rijen goed verstaan.

goed te verstaan is. Verder naar achteren wordt de verstaanbaarheid door het te sterke indirecte geluid nadelig beïnvloed (zie de krommen voor de geluidsintensiteit I_d van het directe geluid en I_{ind} van het indirecte geluid als functie van de afstand tot de spreker). Fig. 1.10b laat ten slotte zien dat de spreker op alle rijen goed verstaan wordt. Met behulp van een luidsprekergroep, die het geluid gebundeld op de achterste zaalhelft richt, is I_d overal in de zaal vergroot ten opzichte van I_{ind} [8].

Natuurlijk kan ook het tegenovergestelde nodig zijn. Dit is het geval, wanneer een zaal met een korte nagalmtijd geschikt gemaakt moet worden voor muziekuitvoeringen. Dit probleem kan met behulp van de ambiofonie (soms ook stereo-nagalm genoemd) worden opgelost [1, 8]. Een voorbeeld hiervan is in fig. 1.11 schematisch weergegeven. Ten behoeve van de overzichtelijkheid is slechts één microfoon (M) in het schema getekend. Deze microfoon bevindt zich midden boven het orkest. Het microfoonsignaal wordt door middel van een opneemkop (O) op de omtrek van een roterende magneetschijf (W) magnetisch geregistreerd. Deze schijf wordt ook wel

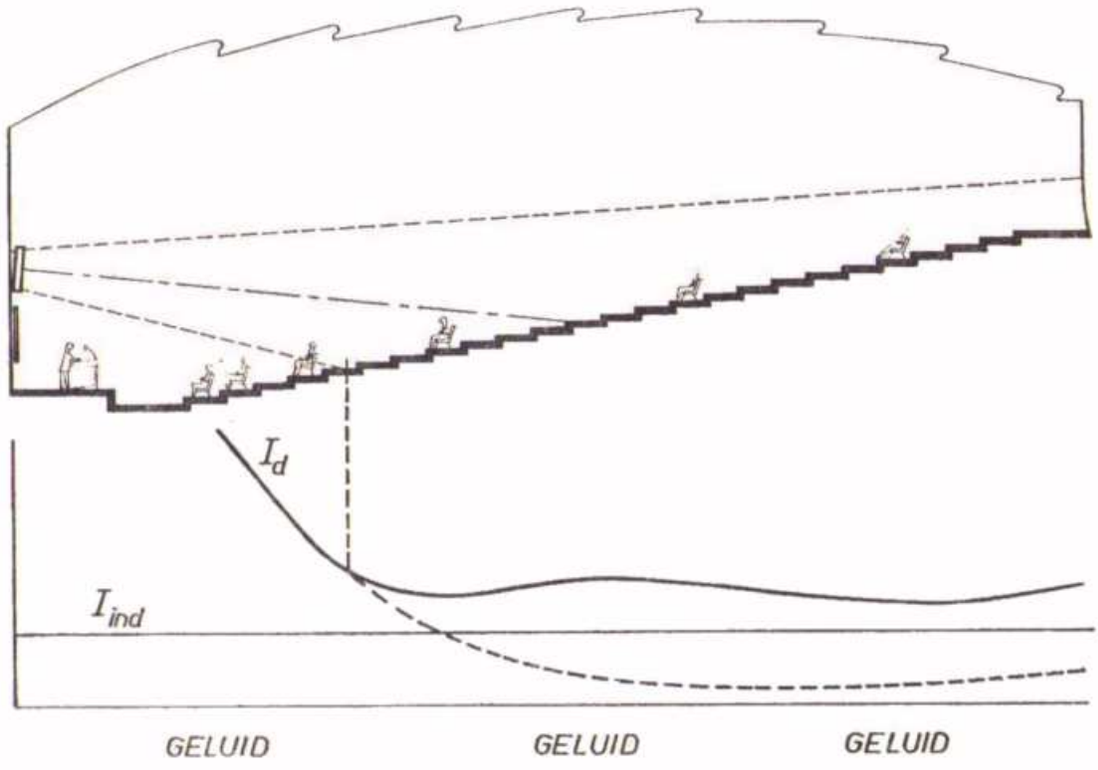


Fig. 1.10b. Met behulp van een luidsprekergroep, die het geluid gebundeld op de achterste zaalhelft richt, wordt de spreker in de gehele zaal goed verstaan.

vertragingsschijf genoemd. Het magnetisch geregistreerde signaal passeert achtereenvolgens vier weergeefkoppen (1 . . . 4) en een wiskop (5). Deze laatste zorgt er voor, dat de magnetiseerbare laag (*m*) bij het passeren van de opneemkop (*O*) steeds is gewist. De in de weergeefkoppen geïnduceerde signalen zijn ten opzichte van het microfoonsignaal vertraagd. De vertragingstijd hangt af van de afstand tussen de opneemkop en de desbetreffende weergeefkop, alsmede van de omtreksnelheid van de schijf. Van elke weergeefkop wordt via een bijbehorende versterker (A_1 . . . A_4) het signaal overgebracht naar een op passende wijze over de zaal verspreide luidsprekergroep, welke ten doel heeft de gewenste hoeveelheid diffuus geluid te leveren.

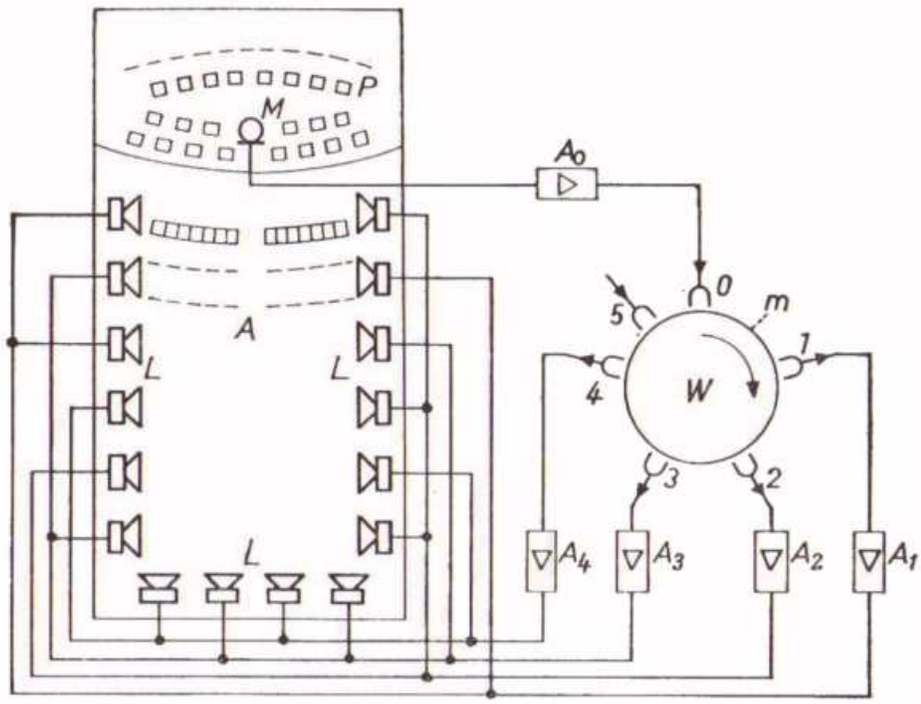


Fig. 1.11. Principe van een installatie voor ambiofonie. Met deze installatie kan een vertrek met een korte nagalmtijd voor muziekuitvoeringen geschikt worden gemaakt.

Te dien einde zijn de luidsprekers rondom in de zaal geplaatst, en wel zo, dat zij zo weinig mogelijk rechtstreeks op het publiek zijn gericht. Door aan ieder van deze groepen de juiste intensiteit, klankkleur en vertraging te geven en bovendien in de gevallen waarin dit nodig blijkt, nog elektrische terugkoppelingen aan te brengen tussen de weergeefkoppen en de opneemkop, wordt ten slotte het gewenste effect bereikt. Het op deze wijze verkregen diffuse en vertraagde geluid vormt de vereiste aanvulling op het indirecte geluid, dat door de eigenschappen van de wanden van de betrokken zaal slechts in ontoereikende mate kon ontstaan. Het merendeel van het geluid

kan daarbij uit de luidsprekers komen, zonder dat het publiek dit zal bemerken. Het instellen van dergelijke installaties is echter zeer kritisch. Overdrijving schaadt de natuurlijkheid en verraadt bovendien de aanwezigheid van de installatie. Bij juiste instelling wordt daarentegen door ambiofonie een belangrijke bijdrage geleverd tot de volle klankrijkdom van een muziekuitvoering. Ook kunnen ambiofonische installaties ertoe dienen het publiek een zaal van grotere afmetingen dan de werkelijkheid te suggereren of bij voorstellingen in de open lucht de akoestiek van een concertzaal na te bootsen.

1.3 Monofonische of stereofonische weergave?

Waarschijnlijk zal de lezer ietwat verwonderd zijn als opschrift boven dit hoofdstuk de vraag te zien prijken „Monofonische of stereofonische weergave?". Toch is dit DE beslissende vraag, waarvoor de technicus zich met betrekking tot de voortdurend toenemende verbreiding van de stereotechniek ziet gesteld en die hem ook zeker door buitenstaanders, door leken, steeds opnieuw wordt gesteld.

Het antwoord mag niet zonder nadere overwegingen simpelweg ten gunste van de stereofonische weergave uitvallen, ofschoon de stereofonie onweerlegbare, ja zelfs belangrijke, vorderingen op het gebied van de geluidsweergave heeft gebracht. In ieder geval zal men toch het beoogde doel nuchter moeten beschouwen. Afgezien van de omstandigheid dat het bij voorbaat onzinnig is om de woorden van een spreker, die zich op één plaats, nl. aan de lessenaar, bevindt, stereofonisch te willen weergeven, doet zich ook het verschijnsel voor dat er inderdaad veel mensen zijn, die zich met een plaats in de achterste rijen van een concertzaal tevreden stellen. Waarom doen zij dit? Een deel van hen zal zeker geen verschil waarnemen tussen de plaatsen in de voorste en die in de achterste rijen. Zelfs de ijverigste pogingen om deze mensen voor de stereofonie te interesseren, zijn bij voorbaat tot mislukken gedoemd. Ook is stereofonische weergave overbodig in gevallen waar het in hoofdzaak om zogenaamde achtergrondmuziek gaat.

Behalve op hoorspelen heeft de mogelijkheid van stereofonische weergave in hoofdzaak betrekking op muziekuitvoeringen. Daar het doel van de muziek bij de werkelijke uitvoering is gelegen in de genieting ervan, moet de technische reproduktie van dergelijke uitvoeringen de mogelijkheid bieden op overeenkomstige wijze van de muziek te genieten. Bij het streven

naar de realisering van deze gedachte valt het antwoord ondubbelzinnig ten gunste van de stereofonie uit. Daarbij wordt als vanzelfsprekend aangenomen dat stereotechniek en Hi-Fi resp. huiskamergeluidstechniek onafscheidelijk bij elkaar horen. De reden voor deze „saamhorigheid" ligt duidelijk voor de hand. Aangezien men voortdurend streefde naar de grootst mogelijke weergavegetrouwheid, was daarvan het onvermijdelijke gevolg dat men de weg ging van de stereotechniek en de Hi-Fi. Dat men daarbij in de eerste plaats gebruik maakte van monofonische weergave met sterk gediffuseerde geluidsstraling moet alleen worden toegeschreven aan de omstandigheid dat men moest werken met de ter beschikking staande middelen. Helaas waren het z.g. pseudo-stereo-effecten, die, toegepast bij monofonische weergave, bij het publiek een ruimtelijke indruk moesten wekken. Deze effecten hadden echter niets te maken met stereofonie.

Toch was ook de ontwikkeling van de Hi-Fi gebonden aan de technische mogelijkheden. Beschouwde men nog in 1953 een frequentiegebied van 40 . . . 15 000 Hz als voldoende en een gebied van 30 . . . 20 000 Hz als tamelijk extreem [14], reeds in 1960 werd een frequentiegebied van 10 . . . 30 000 Hz als minimumeis gezien, waarbij het lineaire frequentieverloop ten minste een octaaf verder moest doorlopen dan de normale gehoorgrens [15]. Met de overige eigenschappen is het overeenkomstig gesteld. Ook beschouwde men aanvankelijk het menselijk gehoor als graadmeter voor de weergavegetrouwheid [14], een methode die momenteel absoluut niet meer in aanmerking komt.

Al kan dan ook de gebruiker van een Hi-Fi-installatie deze naar zijn eigen smaak instellen, toch geldt als uitgangspunt dat alle onderdelen van de installatie aan bepaalde eisen moeten voldoen. Zoals bekend beïnvloedt elk der onderdelen de kwaliteit van de weergave door de in de onderdelen ontstane vervormingen. Zelfs in het gunstigste geval kunnen alleen de in het signaal optredende lineaire vervormingen door speciaal voor dit doel in de schakeling opgenomen regelbare onderdelen worden gecompenseerd. Reeds aanwezige of in de installatie ontstane niet-lineaire vervormingen kunnen echter niet meer worden gecompenseerd [15].

Waar in het voorafgaande gesproken werd van het genieten van muziek, zowel bij de werkelijke uitvoering als bij de elektrische weergave hiervan, is natuurlijk ook gedacht aan een zinvolle vorm en een passend karakter van het muziekgenot. Zomin als men een feestmaal kan genieten in een bierlokaal, zal men bezwaarlijk een symfonieconcert door een jukebox geleverd willen hebben. Dit houdt dan ook in (zie Hoofdstuk 1.2), dat de

muziek ook in een daarvoor geschikt vertrek moet worden beluisterd. In dit verband treden twee praktisch overeenkomstige ideeën naar voren, die bovendien bijna gelijktijdig bekendheid kregen. Het eerste kwam uit Midden-Europa, waar men voorstelde [16] om televisie-uitzendingen van stereogeluid te voorzien, daar „hier . . . van de deelnemer als vanzelfsprekend alle aandacht wordt verlangd (en ook wordt gegeven), waarvan men heeft vastgesteld dat zij naast het innemen van een vaste plaats in het vertrek waar de uitzending wordt weergegeven, een belangrijke voorwaarde is voor het „overkomen" van een stereo-uitzending. . . . De radioverenigingen kunnen hun programma's aanzienlijk verrijken door uitzending van het tot nu toe ten onrechte veronachtzaamde televisieconcert. . . ." Het tweede idee kwam uit Noord-Amerika [17], waar het FCC (Federal Communications Commission) Stereo-Multiplex voor televisiegeluid zou overwegen en de vraag bestudeerde „of stereofonisch geluid tot een realistische weergave zou bijdragen" en zo ja, „welk type systeem" zou moeten worden gebruikt. Aan de hand hiervan mag wel als zeker worden aangenomen dat het hier niet een of ander zonderling idee betreft, maar juist (indien deze ideeën worden gerealiseerd) een bijdrage van beslissende betekenis voor de verbetering van de natuurgetrouwe weergave van muziekuitzendingen via de radio. De weergavegetrouwheid, of anders gezegd de natuurlijke weergave van de muziek, blijft het doel van de elektro-akoestiek, ook in de gevallen waarin een hoogfrequentkanaal voor de overdracht is tussengeschakeld. In de inleiding van dit hoofdstuk is gewag gemaakt van het sleutelgateffect, welk effect verbonden is aan de weergave via één enkele luidspreker, daar hierbij als het ware geluisterd wordt via een gat in de muur van de concertzaal [10]. Men kan zich dan ook levendig de verademing van de verlate concertbezoeker voorstellen, als deze, na het aanhoren van het begin via de op een kier staande zaaldeur, ten slotte de zaal betreedt. Daaraan is toch zeer duidelijk te merken, dat er klaarblijkelijk iets met de muziek niet in orde is, die, komende van een in de ruimte verspreide geluidsbron, via een kleine opening voor ons te beluisteren is. Om dit sleutelgateffect op te heffen is men absoluut op de stereofonie aangewezen.

De ontwikkeling van de stereofonische geluidsoverdracht is allereerst begonnen uitgaande van het principe van het binaurale horen. Fig. 1.12 geeft hiervan een indruk. In vertrek I zijn in een z.g. kunsthoofd twee microfoons geplaatst. Via deze microfoons wordt dus binauraal „geluisterd". De toehoorder in vertrek II beluistert de in vertrek I gespeelde muziek via hoofdtelefoons, die met de beide microfoons in het kunsthoofd

zijn verbonden. Dit luisteren via de hoofdtelefoons is dus ook binauraal. Reeds deze indruk kan buitengewoon realistisch zijn. Beweegt nu echter de toehoorder in vertrek II zijn hoofd iets ter zijde of draait hij het hoofd, dan zal hij steeds de geluidsbron menen waar te nemen in de richting waar-

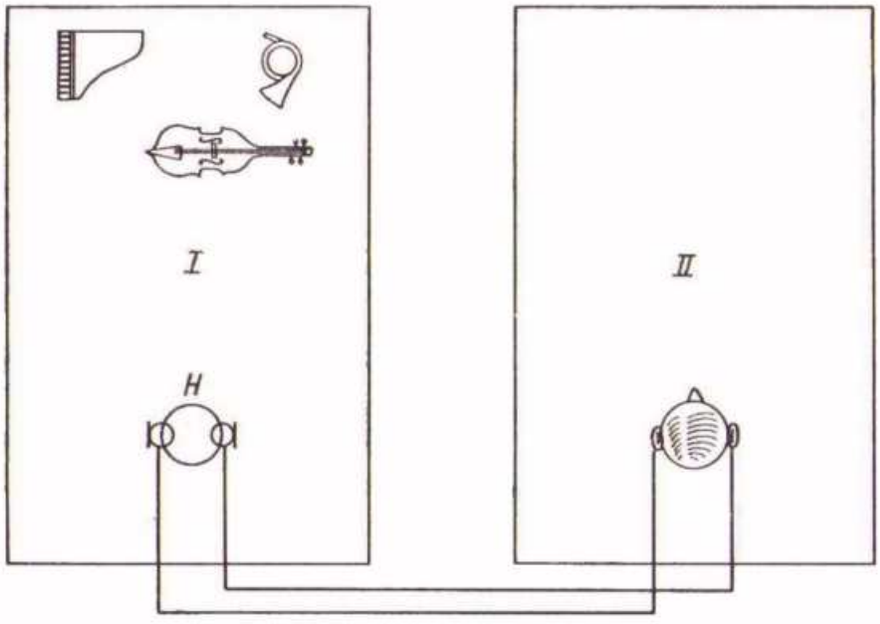


Fig. 1.12. De ontwikkeling van de stereofonische geluidsoverdracht is gebaseerd op het binaurale gehoor van de mens. Een kunsthoofd met twee microfoons „hoort" de uitvoering in vertrek I. De toehoorder in vertrek II ontvangt via twee hoofdtelefoons dezelfde geluidsindruk.

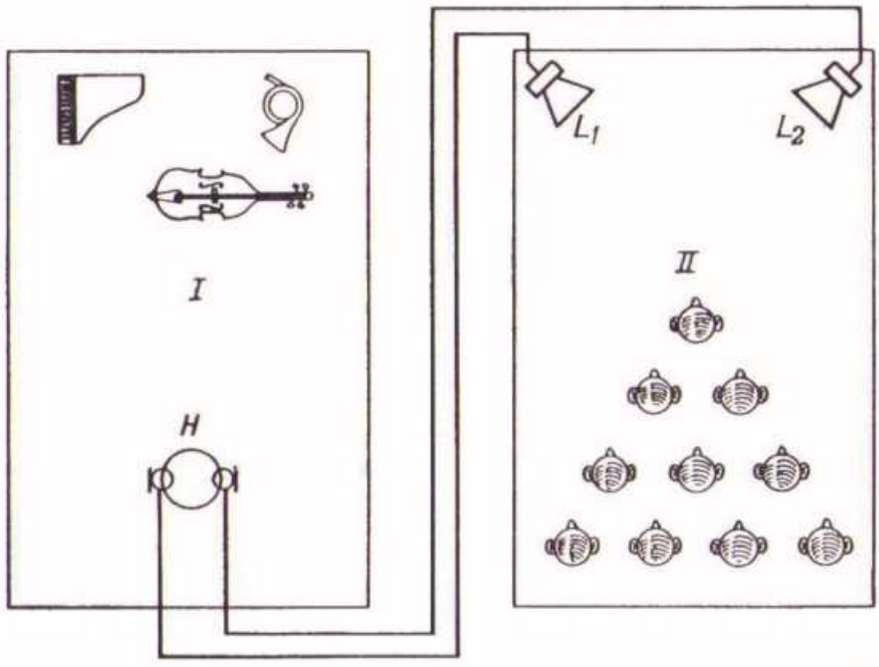


Fig. 1.13. Verdere ontwikkeling van het in fig. 1.12 weergegeven systeem. De toehoorders in vertrek II krijgen een ruimtelijke indruk van de in vertrek I gegeven muziekuitvoering.

heen hij het hoofd wendt. Dit zou inhouden dat voor hem het gehele complex van geluidswaarnemingen om hem schijnt te draaien. De nadelen van dit systeem liggen duidelijk voor de hand.

Geluidswaarnemingen die de oren van twee, op enkele meters van elkaar opgestelde, luidsprekers ontvangen (waarbij deze met de microfoons in genoemd kunsthoofd zijn verbonden) versmelten tot de indruk van één enkele, schijnbare, geluidsbron, die tussen de beide werkelijke geluidsbronnen schijnt te zijn gelegen. Dank zij dit feit kwam men tot de stereofonische weergave, zoals in fig. 1.13 voorgesteld. In tegenstelling tot fig. 1.12 zijn de microfoons in het kunsthoofd in plaats van met hoofdtelefoons nu met twee luidsprekers verbonden. Het in vertrek II verzamelde publiek verkrijgt op deze wijze een ruimtelijke indruk.

Wil men dus de in het opschrift van dit hoofdstuk gestelde vraag „monofonische of stereofonische weergave?" beantwoorden, dan zal bij het streven naar een zo groot mogelijke weergavegetrouwheid de keuze ondubbelzinnig ten gunste van de stereofonie uitvallen. Met de daaraan verbonden problemen betreffende het „Hoe" zullen wij ons in de volgende hoofdstukken bezig houden.

HOOFDSTUK 2

LF-STEREOFONIE

De voor het menselijk oor waarneembare geluiden liggen in een frequentiegebied dat met de benaming laagfrequent (LF) wordt aangeduid. Daarom wordt ook bij het opnemen, vastleggen en weergeven van geluid zogezegd in het laagfrequentgebied gewerkt. Het ligt daarom voor de hand met de behandeling hiervan te beginnen alvorens tot bespreking van de z.g. HF-stereofonie over te gaan, die toch min of meer dient voor de draadloze overdracht van LF-stereofonie.

2.1 Opname

In hoofdzaak kan onder opname het opvangen van geluid worden verstaan, bijv. met behulp van microfoons, met het doel dit geluid vast te leggen of opnieuw weer te geven. Reeds als wij ons bij de beschouwing van geluidsverschijnselen uitsluitend beperken tot de muziek met haar groot aantal verschillende instrumenten, heeft men te doen met een geluidswereld waardoor een respectabel frequentiegebied wordt bestreken. In fig. 2.1 is dit aanschouwelijk voorgesteld, waarbij alleen van de grondtonen van verschillende instrumenten en stemmen het bestreken frequentiegebied is weergegeven [13]. De laagste, door een muziekinstrument opgewekte, grondtoon is de subcontra-C (C2) van het orgel met een frequentie van 16,35 Hz. De laagste toon van de piano is de subcontra-A (A2) met een frequentie van 27,5 Hz. De hoogste toon van de piano is de vijfgestreepte c (c 5) met 4186 Hz. In de hoge frequenties overtreft het orgel alle muziekinstrumenten. De klankomvang van alle instrumenten is, afhankelijk van het meeresoneren van bepaalde boventonen, belangrijk hoger, waarbij deze boventonen bovendien de klankkleur van het instrument bepalen. Veel mensen zijn niet in staat dergelijke frequenties waar te nemen. Het hoorgebied van het menselijk gehoor wordt bij toenemende leeftijd namelijk kleiner. Gegevens hierover zijn vastgelegd in tabel 2.1, welke is opgesteld aan de hand van metingen op 70 proefpersonen [13].

De bij deze metingen toegepaste geluidssterkte bedroeg 60 phon, hetgeen overeenkomt met een normaal spelende luidspreker (zie tabel 1.1). Al is misschien het aantal proefpersonen relatief gering, de in tabel 2.1 vermelde cijfers zijn niettemin zeer instructief. Deze cijfers tonen aan dat reeds tonen met frequenties van 16 000 Hz en hoger door een hoog percentage volwassenen niet meer worden waargenomen. Hierbij dient er echter wel op te worden gewezen, dat volgens recente onderzoekingen de hoogste

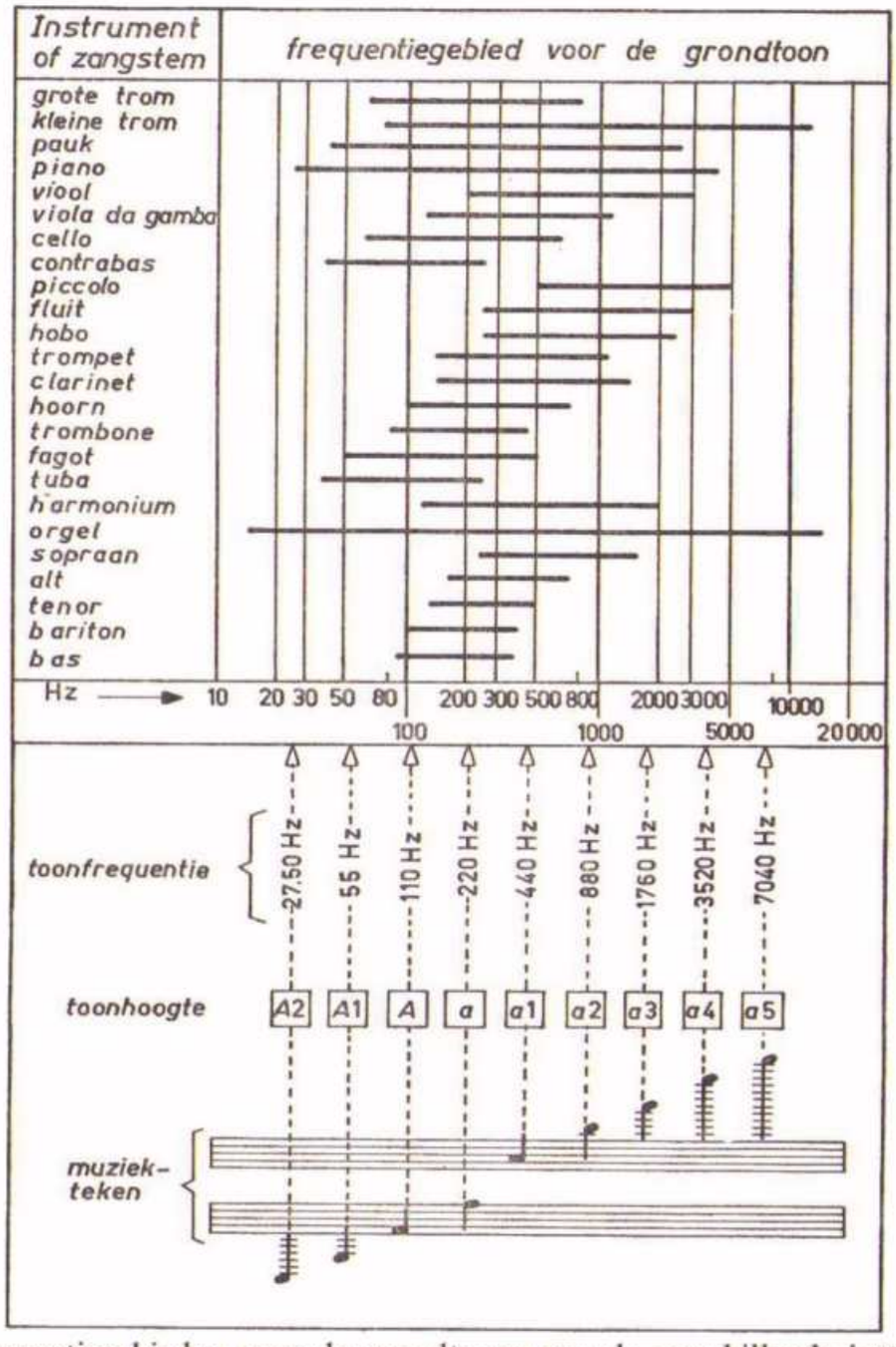


Fig. 2.1. Frequentiegebieden voor de grondtonen van de verschillende instrumenten en zangstemmen.

TABEL 2.1

Hoogste waargenomen frequentie in Hz*	Uit groepen welke telkens uit 10 personen bestonden in onderstaande leeftijdsgroepen, hoorde genoemd aantal personen de ernaast in kolom 1 vermelde frequentie als de hoogst waarneembare.						
	5-9 jaar	10-19 jaar	20-29 jaar	30-39 jaar	40-49 jaar	50-59 jaar	60-69 jaar
16 000	10	9	6	3	1	0	0
15 000	10	9	8	5	2	1	0
14 000	10	10	9	6	3	1	0
13 000	10	10	10	7	4	2	1
12 000	10	10	10	8	6	3	2
11 000	10	10	10	10	7	5	3
10 000	10	10	10	10	8	7	6
9 000	10	10	10	10	10	9	8
8 000	10	10	10	10	10	10	9

* Bij een geluidssterkte van 60 phon.

tonen, zelfs als zij door het gehoor niet meer worden verwerkt, niettemin invloed hebben op de totale indruk van het gehoorde. Verder staat vast, dat niet alleen de omvang van het frequentiegebied een factor van beslissende betekenis is bij het maken van geluidsopnamen. Ook de geluidssterkte heeft daarbij een grote invloed. Het menselijk gehoor neemt geluidssterkten waar van 0 tot 130 phon (zie tabel 1.1). Voor het beluisteren van muziek heeft de mens echter slechts een beperkt gedeelte van dit gebied nodig. Het is ten slotte ook niet de bedoeling dat muziek het gehoor zoveel geweld aandoet, dat de pijngrens wordt bereikt. Maar zelfs de dynamiek of, om een andere naam te gebruiken, het contrast in de geluidssterkte van een muziekuitvoering in werkelijkheid, die bij een groot symfonie-orkest op een verhouding kan liggen van 1:1000 (d.w.z. van piano tot forte) laat zich niet meer met de hulpmiddelen van de elektro-akoestiek overbrengen. Dit is bovendien ook niet wenselijk, daar dan bijvoorbeeld een radiotoestel, dat een nog juist hoorbaar piano heeft overgebracht, bij het daaropvolgend fortissimo de wanden zou doen scheuren. Om deze reden (en ook om niet met het piano terug te vallen op het onvermijdelijke ruisniveau) wordt bij de radio-overdracht het gebied van de geluidsdynamiek tot ongeveer 1:100 beperkt, hetgeen met ongeveer 40 dB overeenkomt [6]. Daaruit mag men niet concluderen, dat hier de grens van de elektro-akoestiek met betrekking tot het te verwerken geluidsniveau ligt. Dit is geenszins het geval.

Dit voorbeeld wil alleen duidelijk maken dat men onmogelijk de volledige dynamiek van een concertuitvoering in een zaal naar een woonkamer kan overbrengen. Dit zou ook niets meer met het muziekgenot, waarvan in paragraaf 1.3 wordt gesproken, te maken hebben!

Nadat aldus in het voorafgaande de grenzen van het frequentiegebied en de dynamiekspan van het geluid ten aanzien van geluidsopneming ongeveer zijn bepaald, volgt nu het een en ander over het opnemen zelf. Hierbij kan men globaal een onderscheid maken tussen verschijnselen die inderdaad als geluid ontstaan, en andere die reeds als elektrogeluid ter beschikking zijn. Tot deze laatste categorie behoren bijvoorbeeld de met een radiotoestel opgevangen uitzendingen, die, na demodulatie in het toestel, als LF-signaal hoorbaar worden. Verder kunnen hiertoe worden gerekend: telefoongesprekken die via een z.g. telefoonadapter kunnen worden afgetapt en alle vormen van kopiëren van grammofoonplaten en geluidsbanden. Daar hierbij echter steeds sprake is van een voorafgaande microfoonopname van een bepaald geluidencomplex, wordt deze categorie zeer in het kort aan het einde van deze paragraaf behandeld.

In de vorige alinea werd reeds onderscheid gemaakt tussen geluid en elektrogeluid. Men kan dus een microfoon als een omzetter beschouwen die zorg draagt voor de omzetting van geluid in een LF-signaal, d.w.z. in elektrogeluid. Hier hebben wij te doen met een principe dat precies tegenovergesteld is aan dat van de luidspreker, die LF-signalen weer omzet in geluid. Men onderscheidt drukmicrofoons en drukverschilmicrofoons. Ook bestaan er combinaties van deze principes. Een verder kenmerk van de microfoons is hun richtingskarakteristiek. Deze geeft aan de microfoons bepaalde eigenschappen. Fig. 2.2 geeft een overzicht van de karakteristieken van de meest gebruikte typen microfoons. De richtingskarakteristiek in fig. 2.2a is cirkel- of ook wel kogelvormig; de microfoon bezit dan een gevoeligheid die naar alle zijden is gericht. De afbeeldingen in de fig. 2.2b, c en d wijken af van deze cirkelvormige karakteristiek. Hier zien wij een achtvormige karakteristiek (fig. 2.2b) van een microfoon met een naar twee zijden gerichte gevoeligheid, alsmede de cardioïdevormige (fig. 2.2c) resp. hyper- of supercardioïdevormige karakteristieken (fig. 2.2d) van twee microfoons met naar één zijde gerichte gevoeligheid. Ten behoeve van de volledigheid dient hierbij vermeld, dat in plaats van de benaming „cardioïdevormig" ook wel de omschrijvingen „niervormig" of „hartvormig" worden gebruikt. Met al deze benamingen wordt echter steeds dezelfde karakteristiek bedoeld.

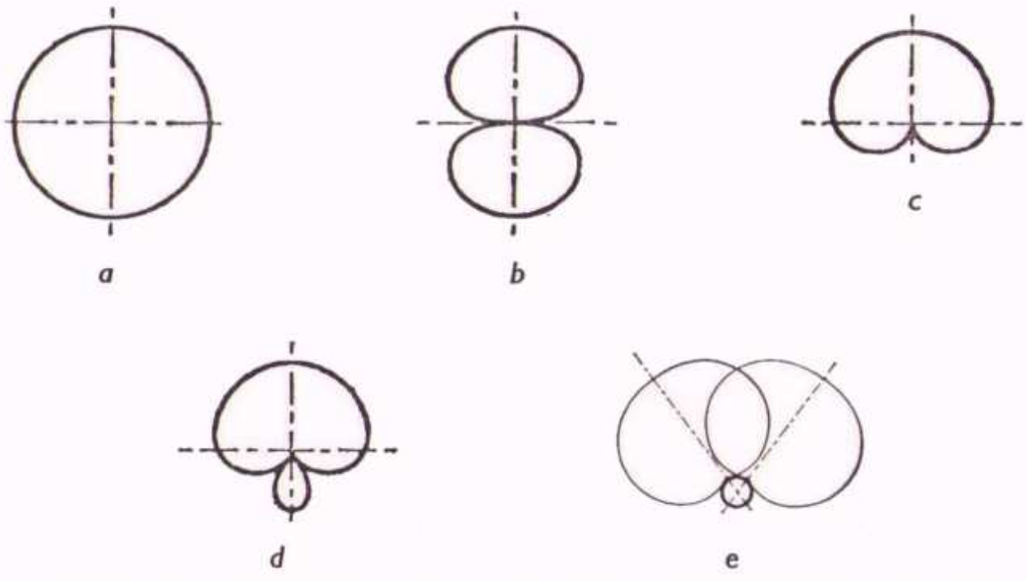


Fig. 2.2. Richtingskarakteristieken van verschillende microfoontypen: cirkel- resp. kogelvormig (a), achtvormig (b), cardioïdevormig (c), hyper- of supercardioïdevormig (d) en dubbele-cardioïdevormige karakteristiek van een stereomicrofoon (e).

TABEL 2.2

Richtings-karakteristiek	Gevoeligheid	Werkings-principe	Constructietype	Zie fig.
Cirkel- resp. kogelvormig	naar alle zijden	drukmicrofoon	kool-, kristal-, zweef-spoel-, band- en con-densatormicrofoon	2.2a
Achtvormig	naar twee zijden	drukverschil-microfoon	zweefspoel-, band- en condensatormicrofoon	2.2b
Cardioïde- of hartvormig	naar één zijde	druk-, druk-verschil-microfoon	kristal-, zweefspoel-, band- en condensator-microfoon	2.2c
Hyper- resp. supercardioïde-vormig	naar één zijde	druk-, druk-verschil-microfoon	kristal-, zweefspoel-, band- en condensator-microfoon	2.2d
Dubbel-cardioïde-vormig	tweemaal naar één zijde, waarbij de richtingen een hoek maken van 90°	druk-, druk-verschil-microfoon	kristal-, zweefspoel-, band- en condensator-microfoon	2.2e

Voor stereo-opnamen is het gebruik van stereomicrofoons absoluut noodzakelijk. Naast het aanvankelijk veel gebruikte kunsthoofd dat een gestyleerde nabootsing is van het menselijk hoofd, waaraan op de plaats

van de oren twee microfoons zijn bevestigd, zowel als andere speciale constructies van microfoons, zijn momenteel stereomicrofoons in gebruik die in de meeste gevallen uit een huis bestaan, waarin onder elkaar twee microfooncapsules met cardioïdevormige karakteristieken zodanig zijn geplaatst, dat de middellijnen van hun gevoeligheidskarakteristieken ten opzichte van elkaar een hoek van 90° maken (fig. 2.2e). In tabel 2.2 zijn de belangrijkste gegevens van de omschreven microfoons opgenomen [13]. Deze gegevens vindt men naast die betreffende de gevoeligheid en de impedantie in de beschrijvingen van microfoons. Bij stereomicrofoons is het van belang dat de beide kanalen in alle opzichten zo veel mogelijk met elkaar overeenstemmen. Gemeten in het gebied van 250 tot 8000 Hz, is een verschil tussen de overdrachtsconstanten der beide kanalen van $\leqq 3$ dB toelaatbaar [4].

Om begrijpelijke redenen heeft men de plaatsing van de contactpennen in de contactinrichtingen voor microfoons genormaliseerd [18]. Niettemin zijn de beide in fig. 2.3 weergegeven contactstoppen met overeenkomstige koppelcontactstoppen in gebruik. Fig. 2.3a toont de z.g. DIN-contactstop (volgens DIN 41 524), terwijl fig. 2.3b de z.g. platte IEC-contactstop laat zien. Behalve in de vorm en in de afmetingen, bestaan er ook verschillen in de aanduiding van de contacten. Bij de 5-polige DIN-contactstop, waarvan twee uitvoeringen bestaan, resp. met plaatsing van de pennen

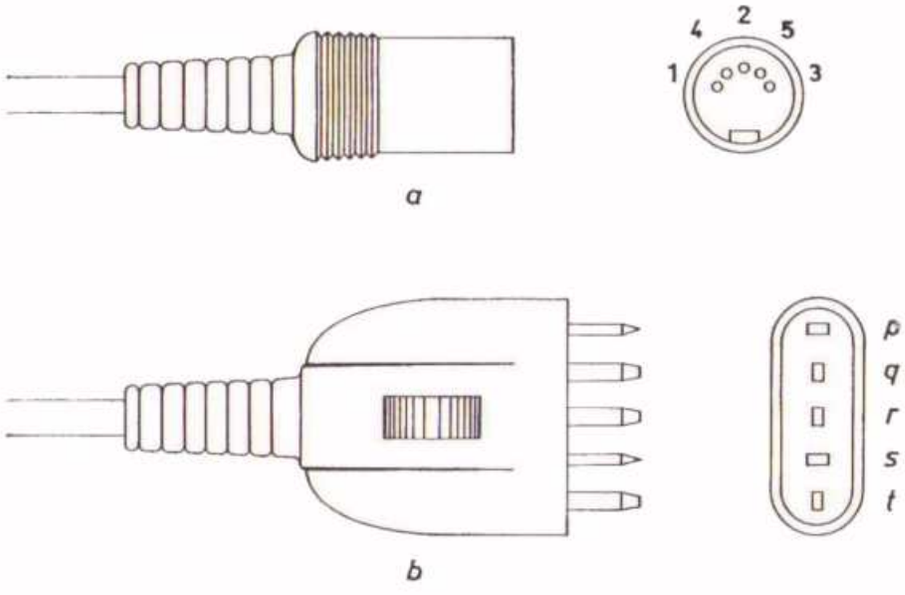


Fig. 2.3. De meer gangbare DIN-contactstop (a) en de platte IEC-contactstop (b); de DIN-contactstop bestaat zowel in 180°- als in 240°- uitvoering.

over bogen van 180° en 240°, liggen de contacten in de volgorde 1, 4, 2, 5, 3. Deze indeling doet op het eerste gezicht ietwat vreemd aan; zij is echter voortgekomen uit de oorspronkelijke 3-polige uitvoering, waarvan de contactpennen de volgorde 1, 2, 3 hadden en in dezelfde positie waren geplaatst als de contacten 1, 2, 3 van de afgebeelde 5-polige contactstop. De contactpennen 4 en 5 zijn later tussen de pennen 1, 2 en 3 gevoegd. Daartegenover is de aanduiding van de contacten bij de in Europa minder verbreide IEC-contactstop *p*, *q*, *r*, *s*, *t*. De contactpennen van de beide contactstoppen komen op de volgende wijze met elkaar overeen:

DIN-contactstop	1	4	2	5	3
IEC-contactstop	*p*	*t*	*r*	*q*	*s*

In fig. 2.4 is voor de DIN-contactstop de aansluiting van de contactpennen voor verschillende microfoons weergegeven. De figuren 2.4a tot en met e hebben betrekking op microfoons voor monauraal opnemen. De fig. 2.4a en 2.4b geven schakelingen voor microfoons met een lage inwendige weerstand (50 . . . 300 Ω, symmetrisch, resp. 50 . . . 500 Ω, onsymmetrisch). Fig. 2.4c toont een microfoon met een capacitieve inwendige weerstand (500 . . . 3000 pF), fig. 2.4d een microfoon met een middelmatige resp. hoge inwendige weerstand (500 . . . 5000 Ω, 25 . . . 150 kΩ). Vervolgens is

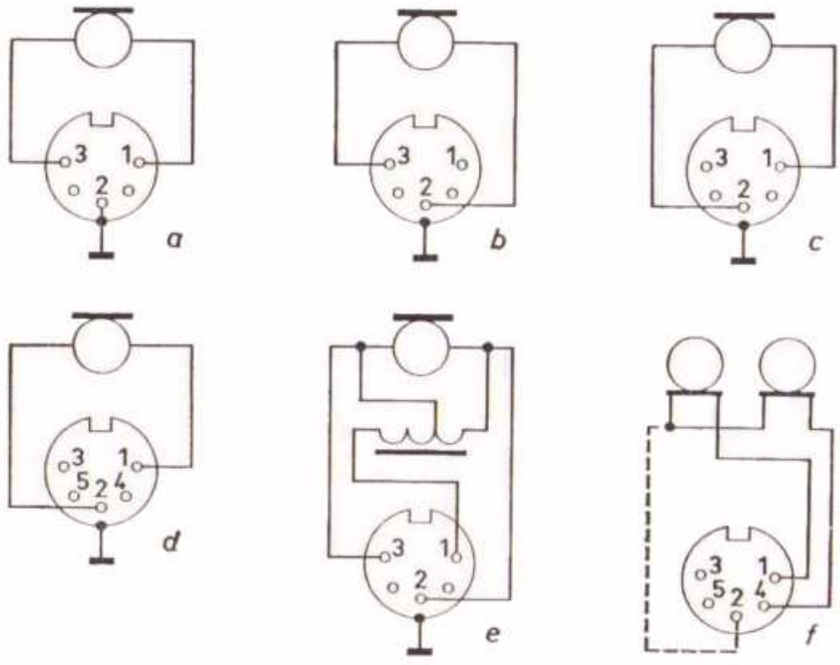


Fig. 2.4. Aansluitingen van de DIN-contactstop bij verschillende microfoontypen. De figuren worden in de tekst toegelicht.

in fig. 2.4e een combinatie weergegeven van de schakelingen in b en d, waardoor een microfoon ontstaat met hoge én lage inwendige weerstand (50 . . . 500 Ω, 25 . . . 150 kΩ). Bij stereomicrofoons doen zich daarbij echter bepaalde moeilijkheden voor. Zoals wij nog in par. 2.3 zullen zien, moet de contactbezetting op de weergeefapparatuur worden aangepast, als de stereomicrofoons rechtstreeks hierop, bijv. op een bandopnemer, moeten kunnen worden aangesloten. In fig. 2.4f is daarom de contactbezetting weergegeven, zoals deze is uitgevoerd bij de stereomicrofoon EL 3757. In tegenstelling tot fig. 2.4b is hier het contact 3 niet aangesloten, daar men de opname via de contacten 1 en 4 maakt en de weergave doet plaatsvinden via de contacten 3 en 5 (zie fig. 2.30). De plaatsing van microfoons vormt een akoestisch aanpassingsprobleem, dat alleen in het desbetreffende vertrek ter plaatse kan worden bekeken [8].

Voor zover de microfoons worden gebruikt voor geluidsopneming of voor het overbrengen van geluid naar een ander vertrek, is het mogelijk ze volgens de normaal geldende richtlijnen van de studiotechniek of op basis van opgedane ervaringen op te stellen. Men behoeft er dan alleen voor te zorgen, dat in hoofdzaak direct geluid en zo weinig mogelijk nagalm en ongewenste storende geluiden worden opgevangen. Deze laatste treden namelijk bij de weergave veel sterker naar voren dan wanneer men ze rechtstreeks hoort.

Anders liggen de verhoudingen als de microfoons moeten dienen voor de overdracht van geluid naar plaatsen binnen een en dezelfde ruimte. Als microfoons geluid opvangen van luidsprekers waarmee zij via versterkers zijn verbonden, dan ontstaat akoestische terugkoppeling. Deze is het sterkste voor die frequenties van het geluidsspectrum die in een bepaalde fasepositie de microfoon treffen. Dit heeft ten gevolge dat deze frequenties extra worden versterkt en dientengevolge langer naklinken. Een dergelijke extra versterking van bepaalde frequenties en het naklinken hiervan zijn bijzonder storende verschijnselen, die onmiddellijk het akoestisch karakter van het geluid verraden en de geluidskwaliteit sterk verminderen. Deze verschijnselen zijn des te storender, naarmate de versterking verder wordt opgevoerd, waardoor dan bepaalde frequenties steeds sterker naar voren komen en langer naklinken. Als de versterking een bepaalde grens overschrijdt, treedt z.g. spontaan genereren van de installatie op, en wel bij de sterkst op de voorgrond tredende voorkeursfrequentie. Wanneer dit laatste nog altijd nu en dan in de praktijk voorkomt, is dit steeds toe te schrijven aan een grove bedieningsfout. Het naklinken van bepaalde toonfrequenties

behoort tot de meest voorkomende klachten over versterkerinstallaties, hetgeen bij juist gedimensioneerde installaties echter een onmiskenbaar bewijs is van een te hoog ingestelde geluidssterkte.

Het gaat er dus om de akoestische terugkoppeling tot iedere prijs te vermijden. Het probleem wordt echter vaak nog bemoeilijkt door de omstandigheid dat de microfoons onopvallend en dikwijls zelfs onzichtbaar moeten worden opgesteld. Het onvermijdelijke gevolg hiervan is een naar verhouding grote afstand tussen de geluidsbron en de microfoons. De enige oplossing ligt dan in het gebruik van microfoons met een uitgesproken richtingswerking. In dit verband wordt de bruikbaarheid van een microfoon uitgedrukt in de verhouding tussen de gevoeligheid in de voorkeursrichting en die naar alle zijden. Deze verhouding bedraagt bij microfoons die naar alle zijden gevoelig zijn (zie fig. 2.2 en tabel 2.2) met een cirkelvormige karakteristiek 0 dB, bij microfoons met een achtvormige resp. cardioïdevormige karakteristiek ongeveer 5 dB en bij microfoons met een hyper- resp. supercardioïdevormige karakteristiek ongeveer 6 dB.

Wanneer optische redenen geen beletsel vormen, kan men voor de microfoonopstelling van de volgende richtwaarden uitgaan [6]. Voor het opnemen van pianomuziek opent men het deksel van het instrument (piano of vleugel) en plaatst men de microfoon op een afstand van ongeveer 50 tot 75 cm naast de rechterzijde (discant) van het instrument. Strijkinstrumenten neemt men, evenals houten blaasinstrumenten, op een afstand van ongeveer 0,5 tot 1 m op. Voor mondaccordeons kieze men een afstand van 25 tot 30 cm, voor accordeons daarentegen een afstand van 0,5 tot 1 m. Koperen blaasinstrumenten kan men opnemen op een afstand van ongeveer 2 m. Bij slaginstrumenten en trommels moet de afstand in ieder geval nog groter zijn. Zang neemt men het beste op een afstand van ongeveer 50 cm op, waarbij voor de microfoon langs moet worden gezongen. Dan komt het vaak voor dat men, bijv. bij hoorspelen, bepaalde geluiden wil opnemen. Vaak kunnen deze met behulp van primitieve hulpmiddelen voor de microfoon worden geïmiteerd. Enige richtlijnen hiervoor vindt men in tabel 2.3.

Verdere mogelijkheden zijn gelegen in het opnemen van radio-uitzendingen, het kopiëren van grammofoonplaten op geluidsband alsook van geluidsband op idem, en het opnemen van telefoongesprekken. Zoals reeds in het voorafgaande werd aangehaald, kan men hier alleen in zeer ruime zin van opnemen spreken. In al deze gevallen is de eigenlijke microfoonopname reeds eerder geschied; wat men nu doet beperkt zich tot het registreren van LF-signalen.

TABEL 2.3

Geluidseffect	Wijze van imitatie voor een microfoon
Knetterend, vlammend vuur	Het met de hand verkreukelen van een stuk cellofaan of een plastiek zak
Sleepbootsirene	Krachtig blazen in de hals van een fles
Geweerschot	Slag met een liniaal op een tafel
Donderend onweer	Het met twee handen snel heen en weer schudden van een grote plaat blik
Knerpende sneeuw	Het met twee handen samenknijpen van een zak stijfselmeel
Branding	Het strijken met een penseel of een bezem over het vel van een trommel
Met geweld openen van een deur	Slag met een hamer op een niet te stabiele kist, bijv. sinaasappelkist
Scheuren van een hemd of een broek	Het verscheuren van een lap
Geklepper van paardehoeven	Twee kokosnootschalen tegen elkaar kloppen of met twee tafeltennisballen op een harde ondergrond kloppen
Regen	Het strooien van fijn zand op een trommel of het heen en weer schudden van erwten in een zeef
Dichtslaan van een autoportier	Het met veel kracht dichtslaan van een zware metalen trommel

Het opnemen van radio-uitzendingen en in het bijzonder van stereo-radio-uitzendingen op geluidsband blijkt dan alleen zinvol, als de betrokken zender met een voldoend grote veldsterkte wordt ontvangen. Uitzonderingen hierop zou men eigenlijk alleen mogen maken voor uitzendingen van grote historische waarde. Verdere bijzonderheden zijn hierbij niet te vermelden, evenmin als ten aanzien van het kopiëren van grammofoonplaten of geluidsbanden op geluidsband. Deze handelingen kunnen op eenvoudige wijze ook door de niet-geschoolde eigenaar van een bandopnemer worden verricht. Het opnemen van telefoongesprekken, waarbij een z.g. telefoonadapter inductief met het telefoontoestel wordt verbonden, kan bij voorbaat niet stereofonisch geschieden en is hier dus slechts terloops vermeld.

2.2 Geluidsdragers

Onder de verschillende typen geluidsdragers heeft de grammofoonplaat van oudsher een rol van niet te onderschatten betekenis vervuld. Ongeveer

tot 1950 heeft men haar uitsluitend gezien als een middel om muziek te „bewaren". Inmiddels heeft echter een enorme technische ontwikkeling plaats gehad, waardoor de grammofoonplaat naast de geluidsband (en natuurlijk verder ook naast de FM-omroep) tot een „geluids"-bron van hoge kwaliteit uitgroeide. Dit is niet in de laatste plaats tot uitdrukking gekomen in de stijgende omzetcijfers van de grammofoonplatenindustrie. Het repertoire bestrijkt momenteel naast bijvoorbeeld volledige opera-opnamen in stereo, de jazz, de populaire muziek en schlagers zelfs opnamen van gesproken woord (voordrachten enz.) en diverse achtergrondgeluiden. Men kan zich nauwelijks nog een overzicht vormen van het gehele toepassingsgebied [19].

Maar op welke wijze is dit nu tot stand gekomen? Deze vraag kan men met recht stellen daar de ontwikkeling van de grammofoonplaat juist daarom zo belangwekkend is, omdat haar reeds tot tweemaal toe een snelle dood werd voorspeld [20]; de eerste maal bij de opkomst van de radio in de twintiger jaren en vijfentwintig jaar later bij het verschijnen op de markt van de eerste bandopneemapparaten voor amateurs. Het is in dit verband de moeite waard een kort overzicht te geven van de technische ontwikkeling van de grammofoonplaat.

Sedert eeuwen heeft de wens om het vergankelijke geluid op te vangen en te „conserveren", wetenschapsmensen en uitvinders, maar ook charlatans, bezig gehouden. Toch bleven gedurende zeer lange tijd praktische resultaten uit. De door Thomas A. Edison in het jaar 1877 ter octrooiering ingediende „Phonograph" vormde de eerste bruikbare methode voor mechanische geluidsregistratie. Als geluidsdrager diende een wals, welke met staniol was overtrokken, en waarin de geluidsgroef in de vorm van een spiraal was geperst. Bij het afspelen bewoog de aftastnaald, die was verbonden met een membraan en verder met de bekende geluidsversterkende trechtervormige hoorn, zich langs de groef, waarbij de op een schroefdraadas roterende wals tegelijkertijd in axiale richting werd verplaatst. De bewegingen, die de naald in analogie met de in de groef gegraveerde geluidstrillingen maakte, geschiedden loodrecht op het oppervlak van de wals. Dit systeem van snijden van een geluidsgroef noemt men diepteschrift. Een doorslaggevend gebrek van de fonograafwals was gelegen in de omstandigheid dat zij niet kon worden gereproduceerd. Tien jaar later verving Emil Berliner de walsvormige geluidsdrager door een geluidsdrager in de vorm van een schijf en vroeg op deze eerste grammofoonplaat octrooi aan. Het snijden van de geluidsgroef geschiedde op een zinken plaat welke met

een laagje vet was bedekt. Daarbij werd niet meer loodrecht geregistreerd, maar parallel met het oppervlak van de plaat, zijwaarts ten opzichte van de bewegingsrichting van de groef. Deze methode heet laterale registratie. De opnamen werden gefixeerd in een zuurbad. De ontwikkeling van een methode voor het vermenigvuldigen der platen nam echter nog verscheidene jaren in beslag. Pas in 1895 werd in Philadelphia de „Berliner Gramophone Company" opgericht. De eerste grammofoonplaten die in de handel werden gebracht, waren uit eboniet vervaardigd, waren aan één kant bespeelbaar en hadden een diameter van 17 (!) centimeter.

In het verdere verloop van de ontwikkeling kwamen vervolgens de overgang van eboniet op schellak als „drager", de vergroting van de diameter tot 25 en 30 cm en de persing aan weerszijden van de plaat. Verder werden enorme verbeteringen bereikt toen men over de mogelijkheid ging beschikken de opnamen elektrisch uit te voeren, hetgeen omstreeks 1925 geschiedde, alsmede toen omstreeks 1930 de eerste elektrische pick-ups en grammofoonmotoren, later gevolgd door de lichtgewicht- en kristalpick-ups, verschenen. Zeer belangrijk voor de verdere ontwikkeling waren verder het tussenschakelen van de geluidsband bij het opnemen en in de allereerste plaats wel de overgang op de zgn. langspeelplaat. De daarop volgende schrede naar de Hi-Fi-kwaliteit en de verdere ontwikkeling van de stereo-grammofoonplaat waren weer logische gevolgen van de verschijning van de langspeelplaat.

Het principe van de huidige stereo-grammofoonplaat is niet nieuw, aangezien reeds in 1931 de Engelsman A. D. Blümlein octrooi verkreeg op een procédé, dat het mogelijk maakte de beide stereo-informaties in één enkele geluidsgroef te registreren. Daarbij combineerde hij het diepteschrift met het laterale schrift. Dat de eigenlijke ontwikkeling van de stereo-grammofoonplaat eerst omstreeks 1955 begon, is toe te schrijven aan de gebreken die vroeger aan de grammofoonplatentechniek kleefden. Men heeft echter het procédé van Blümlein nog aanzienlijk verbeterd. Zo snijdt men de grammofoonplaten tegenwoordig niet met gecombineerd lateraal schrift en diepteschrift, maar volgens een methode waarbij de beide bewegingsrichtingen van het snijden met het oppervlak van de plaat een hoek maken van 45°. Dit wordt in fig. 2.5 verduidelijkt. De snijnaald wordt bewogen door signalen, die aan de spoelen L en R worden toegevoerd. De modulatierichtingen staan dus loodrecht op de binnenste resp. buitenste flank van de geluidsgroef. Dientengevolge zijn de linkse en rechtse registraties kwalitatief gelijkwaardig. Beide groefmodulaties krijgen be-

paalde percentages lateraal schrift en diepteschrift. Alleen aan de hand hiervan is het ook verklaarbaar dat een mono-grammofoonplaat bij het afspelen via een stereo-apparaat in beide kanalen wordt weergegeven. Zij vormt dan in zekere zin een stereo-grammofoonplaat waarvan de beide kanalen gelijk zijn gemoduleerd, en wel alleen met een bepaald percentage lateraal schrift.

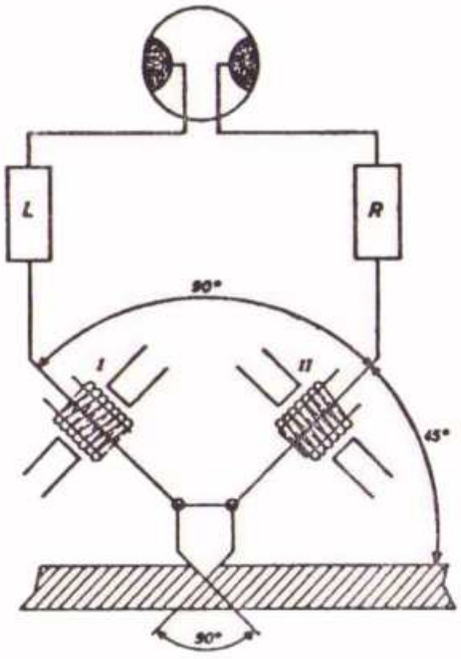


Fig. 2.5. Het principe van het opnemen van een stereogram-mofoonplaat.

Omgekeerd moet echter een stereo-grammofoonplaat ook op een mono-platenspeler kunnen worden afgespeeld; zij moet compatibel zijn. Dit is ook in principe mogelijk als de mono-platenspeler is voorzien van een moderne lichtgewicht-pick-up-arm. Aangezien de pick-up van een dergelijk apparaat wel in horizontale maar niet in verticale richting gevoelig is, kunnen van de beide groefmodulaties alleen de percentages lateraal schrift worden gereproduceerd.

Het tot stand komen van het gecombineerde laterale schrift en diepteschrift wordt hierna aan de hand van de figuren 2.6 tot en met 2.11 toegelicht [13]. Wordt het linkse spoelensysteem (*L* in fig. 2.5) door stroomvariaties bekrachtigd, dan voert de beitel bij de opname bewegingen uit, die loodrecht staan op de flank van de groef (zie fig. 2.6). Op deze wijze wordt de modulatie alleen in de rechtse groefflank gesneden, terwijl de linkse flank geheel ongemoduleerd blijft. Men ziet duidelijk dat de geluidsgroef, al naar gelang de modulatie, smaller of breder wordt. De aftastnaald van een pick-up zal zich ten gevolge van deze modulatie niet

alleen zijdelings maar ook loodrecht bewegen. Fig. 2.7 toont een geluidsgroef, die alleen door het rechtse kanaal (*R* in fig. 2.5) is gemoduleerd. Het betreft hier zodoende een voorstelling in spiegelbeeld van fig. 2.6, waarop geen verdere toelichting nodig is.

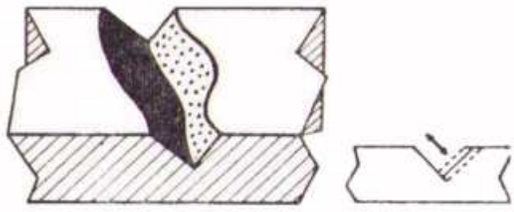


Fig. 2.6. Het opnemen van de *L*-informatie.

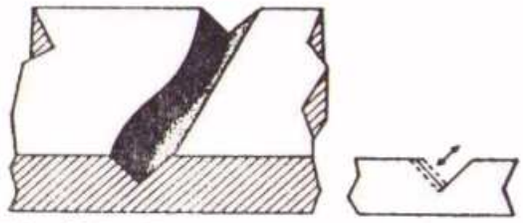


Fig. 2.7. Het opnemen van de *R*-informatie.

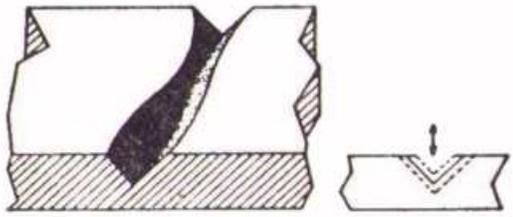


Fig. 2.8. Het gelijktijdig opnemen van *L*- en *R*-informatie; geen fase(tijd)verschil tussen beide informaties.

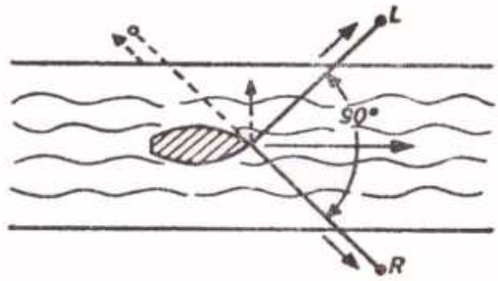


Fig. 2.9. Het ontstaan van een rechtlijnige kracht uit twee zijdelings gerichte krachten wordt hier door een praktisch voorbeeld toegelicht.

Zijn nu de beide groefflanken gemoduleerd met een informatie van gelijke sterkte (zie fig. 2.8), terwijl er geen faseverschil (tijdverschil) tussen de beide informaties bestaat, dan beweegt de snijnaald zich uitsluitend op en neer. Er ontstaat een zuiver diepteschrift; de geluidsgroef wordt afwisselend smaller en breder. Het ontstaan van een voorwaarts gerichte kracht uit twee zijdelings gerichte krachten kan aan de hand van een praktisch voorbeeld worden toegelicht (zie fig. 2.9). Als een boot met behulp van twee even lange lijnen door twee op gelijke hoogte op de beide rivieroevers lopende personen even snel wordt voortgetrokken, beweegt deze zich precies in het midden van de rivier recht naar voren. Eveneens kan uit fig. 2.9 worden afgeleid, wat er gebeurt wanneer een van de personen, bijv. de rechtse, een tegenovergestelde kracht (gestippelde pijl) op de boot zou uitoefenen. Deze zou zich dan in zijwaartse richting naar de oever bewegen.

Op dezelfde wijze is het mogelijk de fase van een van beide informaties in de grammofoonplaatgroef, bijv. de rechtse, elektrisch om te keren. Uitgaande van de voor fig. 2.8 geldende omstandigheden (gelijke intensiteit en fasepositie van beide kanalen) ontstaat dan door de in het rechtse spoelensysteem (*R* in fig. 2.5) tegengesteld optredende kracht een zuiver zijdelingse uitwijking van de snijnaald. Op deze wijze ontstaat een lateraal gemoduleerde geluidsgroef, zoals bij de monogrammofoonplaat het geval is (zie fig. 2.10).

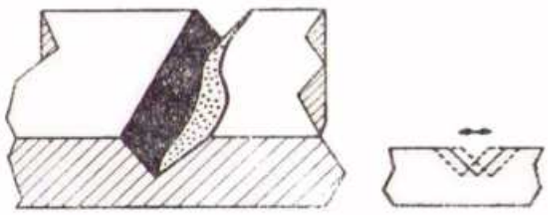


Fig. 2.10. Het ontstaan van een lateraal gemoduleerde geluidsgroef door het omkeren van een der spoelsystemen (*R* in fig. 2.5), gebaseerd op de voor fig. 28 geldende omstandigheden.

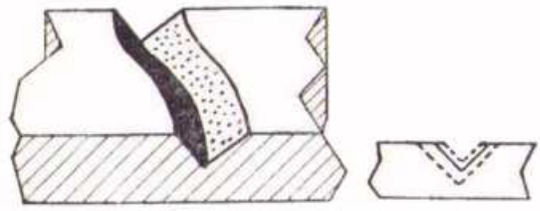


Fig. 2.11. Stereogeluidsgroef met gelijktijdige aanwezigheid van loodrechte en laterale modulaties.

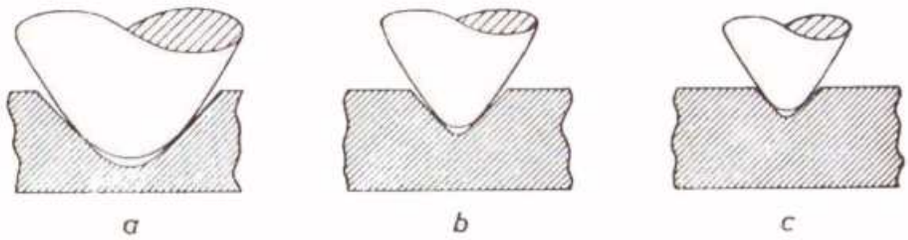


Fig. 2.12. De geometrische afmetingen bepalen tevens de afmetingen van de aftastnaald; standaardgroef N 78 (a), microgroef M 45 en M 33 (b), stereogroef St 45 en St 33 (c).

De aan de hand van de figuren 2.6, 2.7, 2.8 en 2.10 beschreven gevallen komen in de praktijk van de stereo-opname betrekkelijk zelden voor. In de meeste gevallen verschillen de beide informaties in intensiteit en fase. Het gevolg hiervan is, dat de snijnaald zich tegelijkertijd verticaal en horizontaal beweegt. De vergrote afbeelding van een dergelijke geluidsgroef (zie fig. 2.11) laat dit goed zien; loodrechte en laterale (zijdelingse) modulaties treden gelijktijdig op. De geometrische afmetingen van de grammofoonplatengroef, die ook weer bepalend zijn voor de afmetingen van de aftastnaald, zijn genormaliseerd [11]. Nadere gegevens hierover vindt men

in de afbeeldingen van fig. 2.12. Fig. 2.12a toont de normale groef N 78, fig. 2.12b de microgroef M45 en M33 en fig. 2.12c de stereogroef St 45 en St 33. Verdere gegevens zijn bijeengebracht in tabel 2.4.

TABEL 2.4

	Standaardgroef N 78	Microgroef M 45/M 33	Stereogroef St 45/St 33
Groefbreedte	$\geqq$ 100 µm	$\geqq$ 55 µm	$\geqq$ 40 µm
Straal van de groefbodem	$\leqq$ 25 µm^r	$\leqq$ 4 µm^r	$\leqq$ 4 µm^r
Hoek tussen de groefflanken	88° ± 5°	90°	90°
Straal van de bijbehorende naaldpunt	60 µm^r	12 . . . 25 µm^r	12 . . . 18 µm^r

Als voorwaarde geldt dat de aftastnaald noch op de „schouder" noch op de bodem van de groef rust [19]. De reden is hierin gelegen, dat bij te grote aftastradius het gevaar bestaat dat bij grote versnellingen loodrecht op de voortbewegingsrichting van de groef de naald uit de groef wordt weggeslingerd alsmede dat bij te kleine aftastradius de kans bestaat op toenemende vervorming als gevolg van onvoldoende geleiding van de aftastnaald. De ideale positie van de aftastnaald wordt verkregen wanneer deze het midden raakt van de flanken van de groef met een bepaalde tolerantie naar boven en naar beneden. De verschillende mogelijkheden ten aanzien van de positie van de aftastnaald zijn weergegeven in fig. 2.13. De in de fig. 2.13a en 2.13b weergegeven posities van de aftastnaald, waarbij deze op de schouder van de groef rust (a) resp. over de bodem van de groef sleept (b), beide zijn fout. De juiste positie van de naald is in fig. 2.13c weergegeven. Hierbij rust deze aan weerszijden tegen het midden van de groefflanken.

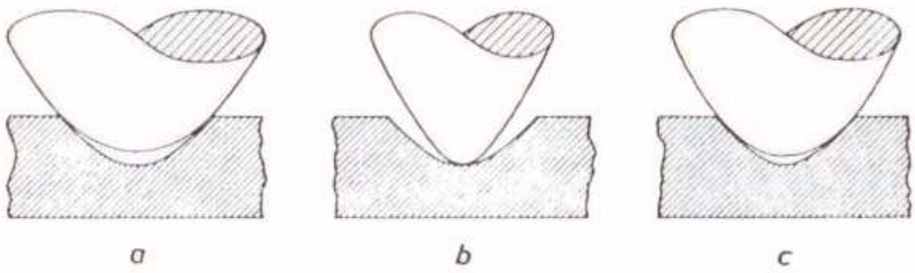


Fig. 2.13. In de figuren a en b zijn voorbeelden gegeven van verkeerde standen van de aftastnaald; in fig. c is de juiste stand afgebeeld.

De grammofoonplaat heeft door diepgaande onderzoekingen en uitgebreide research door de industrie een niveau bereikt dat haar op volledig gelijke hoogte stelt met andere LF-bronnen.

De geluidsregistratie is bij de grammofoonplaat zuiver mechanisch van karakter, al is men dan in de loop der tijd met betrekking tot het snijden van grammofoonplaten en het weergeven van de hiervan vervaardigde kopieën, overgegaan op elektrische procédé's. Uit dit oogpunt wordt het ook begrijpelijk dat men op de lange duur met dit mechanische procédé geen genoegen wilde nemen. Weliswaar is de vermenigvuldiging van de grammofoonplaat zeer eenvoudig, wanneer eenmaal bepaalde vóórbewerkingen hebben plaatsgevonden, maar de vervaardiging van een afzonderlijke grammofoonplaat is (en wel in het bijzonder met het oog op de uitvoering door amateurs) te omslachtig. Via de idee van de magnetische geluidsregistratie kwam men op de geluidsband als geluidsdrager [22].

De ontwikkeling hiervan voltrok zich iets meer in stilte, omdat er voor hen die zich interesseerden voor geluidsopnamen, reeds de grammofoonplaat bestond. De weg die leidde tot de huidige geluidsband, bracht eerst de stalen band en wat later de stalen draad als geluidsdrager. Met behulp van deze media was het echter nog niet mogelijk tot echt goede resultaten bij de geluidsregistratie te komen, waardoor zij nooit algemeen ingang hebben kunnen vinden. De volgende schrede bestond in de toepassing van een met ijzerpoeder bedekte cellulosefilm, waardoor een belangrijke verbetering werd verkregen. Een voor dit procédé fundamentele verbetering werd in 1940 ingevoerd, toen von Braunmühl en Weber de hoogfrequentbehandeling van de geluidsdrager uitbrachten. Met dit systeem was (afgezien van verdere verfijningen) op dat moment het registratieprocédé zoals dit in zijn huidige vorm bekend is, bereikt. Wel werd nog de cellulosefilm als materiaal voor de drager vervangen door foelies van acetylcellulose, polyvinylchloride of polyester, waarop de magnetisch werkzame laag met een dikte van 10 . . . 15 μm wordt aangebracht. Deze laag bestaat in hoofdzaak uit speciaal bereid ijzeroxyde (Fe_2O_3 en Fe_3O_4).

De geluidsregistratie op band geschiedt door het teweegbrengen van een variërende magnetisatietoestand van bovengenoemde laag. Voor dit doel wordt de band met een constante snelheid langs een stel koppen geleid. Het principe is in fig. 2.14 weergegeven. De benamingen der koppen spreken voor zich zelf. Alleen moet hierbij nog worden opgemerkt, dat er ook combinaties van opneem- en weergeefkoppen bestaan. Men spreekt dan van opneem-weergeefkoppen. Het bandtransport geschiedde aan-

vankelijk met een snelheid van 76 cm/s. Hiermede verkreeg men bij een band van 1000 m een speelduur van bijna 22 minuten, daar men eerst later de meersporentechniek ontwikkelde. Wanneer men de huidige bandsnelheden (waarbij men gaat tot 2,4 cm/s) en de moderne viersporentechniek in aanmerking neemt, geven de genoemde getallen een indruk van grote verspilling. Een overzicht van de meest gebruikte bandsnelheden is in tabel 2.5 gegeven.

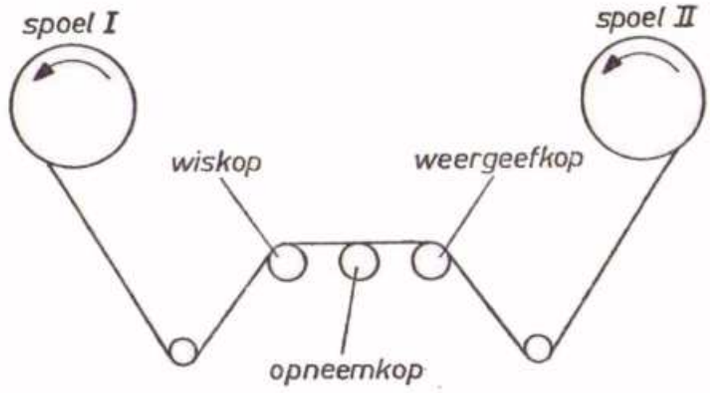


Fig. 2.14. Principiële opstelling van de koppen en inrichting van het bandtransport bij bandopneemapparaten.

TABEL 2.5

cm/s	76	45,6	38	19	18,3	9,5	4,75	2,4
inch/s	30	17,95	15	7,5	7,2	3,75	1,875	0,94

De bandsnelheden 45,6 en 18,3 cm/s resp. 17.95 en 7.2 inch/s worden bij de geluidsfilmtechniek toegepast.

In de loop van de verdere ontwikkeling en door de voortdurende verbetering van apparaten en banden, gelukte het de bandsnelheid steeds verder te verlagen. Zo gelukte het ten slotte een economisch verantwoord bandgebruik te realiseren, waardoor de bandopneemapparaten uiteindelijk ook voor amateurdoeleinden interessant werden. Bij apparaten voor amateurgebruik worden alleen de in het overzicht van tabel 2.5 genoemde snelheden van 19, 9,5, 4,75 en 2,4 cm/s toegepast. Fig. 2.15 illustreert de lengten van

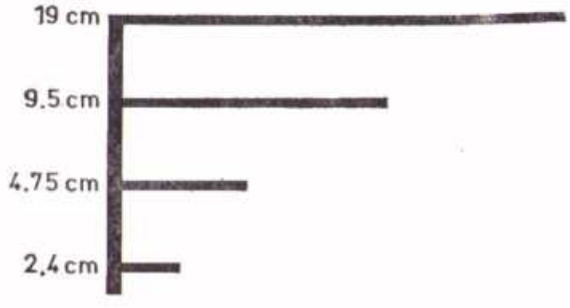


Fig. 2.15. Grafische vergelijking van de lengte per seconde getransporteerde band bij verschillende bandsnelheden.

de bij deze vier snelheden per seconde verplaatste band. Het meest gangbaar is de bandsnelheid 9,5 cm/s [6]. Deze maakt bij zeer goede weergavekwaliteit een economisch bandverbruik mogelijk. Voor nog hogere kwaliteitseisen vindt men bij de apparaten in de hoge prijsklassen de bandsnelheid 19 cm/s. Deze wordt voor weergave met uitgesproken Hi-Fi-kwaliteit gebruikt. Door de ontwikkeling van de moderne, aan zeer hoge eisen beantwoordende, microkop is inmiddels ook de bandsnelheid van 4,75 cm/s in het middelpunt van de belangstelling gekomen. Deze snelheid, die vroeger uitsluitend voor opnamen van gesproken woord werd gebruikt alsmede voor muziekopnamen waaraan geringe kwaliteitseisen werden gesteld, biedt momenteel de mogelijkheid van opnamen met een kwaliteit, die tot voor kort alleen met 9,5 cm/s (dus de dubbele snelheid) denkbaar was. Daardoor kreeg het tevens zin een verdere halvering van de bandsnelheid in te voeren. Dit werd dan 2,4 cm/s, een snelheid die een extreem economisch bandverbruik paart aan een bijzondere geschiktheid voor langdurige opnamen van gesproken woord, waaraan ten aanzien van de kwaliteit geen hoge eisen worden gesteld.

In dit verband duikt nu ook de vraag op wat de beste of de geschikste bandsnelheid is. Een antwoord op deze vraag kan echter alleen in die zin worden gegeven, dat iedere bandsnelheid op zich zelf bepaalde specifieke voordelen heeft. Die bandsnelheid is de beste, welke het meest aan het doel van de opname beantwoordt. Daarbij moet natuurlijk rekening worden gehouden met de factoren kwaliteit en bandverbruik. Aanvankelijk had men voor de registratie de gehele breedte van de geluidsband nodig (6,25 mm). Men spreekt in dit verband ook van volspoortechniek. Door een halvering van de spoorbreedte kwam men tot de z.g. halfspoortechniek, die registratie van twee geluidssporen naast elkaar mogelijk maakte. Door een verdere halvering ontstond de kwartspoortechniek, welke op haar beurt weer de registratie van 4 geluidssporen naast elkaar toeliet. Deze indirect verkregen

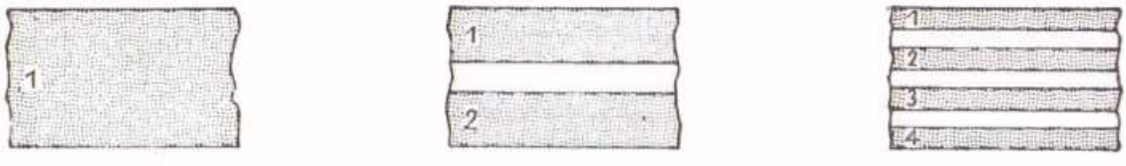


Fig. 2.16. Indirecte bandwinst door tweemaal halveren van de spoorbreedte; *a* = volspoortechniek, *b* = halfspoortechniek, *c* = kwartspoortechniek.

winst aan bandmateriaal is in fig. 2.16 aanschouwelijk voorgesteld [13]. Fig. 2.16a toont de volspoortechniek, fig. 2.16b de halfspoortechniek en fig. 2.16c de kwartspoortechniek.

Men mag hierbij niet uit het oog verliezen dat, bij verder doorgevoerde benutting van de bandbreedte, de breedte van het geluidsspoor steeds kleiner wordt. Stond aanvankelijk bij de volspoortechniek nog de volle breedte van de band (6,25 mm) ter beschikking, bij de halfspoortechniek was dit nog slechts krap 3 mm per spoor. Bij de kwartspoortechniek bedraagt de spoorbreedte ten slotte nog slechts 1 mm, daar er tussen de sporen eveneens ruimte moet worden vrijgelaten omdat een bepaalde afstand tussen de sporen nodig is. Bij kleiner wordende spoorbreedte dalen dan ook de dynamiekomvang en de afstand tot het ruisniveau, hetgeen weer speciale voorzieningen in de geluidsbandapparaten nodig maakt, zoals bijv. grotere versterking, verdere verlaging van het ruisniveau enz.

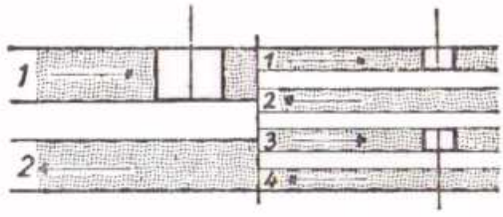


Fig. 2.17. Indeling van de band bij half- resp. kwartspoortechniek.

De indelingen van de geluidsband resp. bij halfspoor- en kwartspoortechniek is in fig. 2.17 weergegeven. Bij mono-opnamen en halfspoortechniek wordt spoor 1 in de ene richting en, na het omkeren van de band, spoor 2 in de andere richting benut. Op overeenkomstige wijze worden bij mono-opnamen en kwartspoortechniek bij het eerste transport van de band spoor 1 en bij het tweede transport (na de eerste omkering van de band) spoor 4 gebruikt. Pas daarna gebruikt men (na een tweede omkering van de band) spoor 3 en ten slotte (na een derde omkering) spoor 2. Bij stereo-opnamen wordt, als noodzakelijk gevolg van de toegepaste techniek, de speelduur van de geluidsband gehalveerd. Bij halfspoortechniek wordt dan op spoor 1 het linkerkanaal en op spoor 2 het rechterkanaal opgenomen. Bij kwartspoortechniek neemt men op spoor 1 het linkerkanaal op en op spoor 3 het rechterkanaal. Na het omkeren van de band wordt vervolgens op spoor 4 het linkerkanaal en op spoor 2 het rechterkanaal geregistreerd. Geluidsbanden voor amateurdoeleinden zijn aan het begin van een groene en aan het einde van een rode aanloopband voorzien [23]. Op de rugzijde is meestal de naam van de fabrikant, het bandtype en het fabricagenummer gedrukt.

Opnamen van apparaten met tweesporentechniek kunnen zonder meer op apparaten met viersporentechniek worden weergegeven. Omgekeerd kan men banden met opnamen die op een viersporen-apparaat zijn gemaakt, op tweesporen-apparaten afspelen, als alleen opnamen zijn gemaakt op de sporen 1 en 4. Dit is ook een van de redenen, waarom bij geluidsbanden waarop opnamen met viersporentechniek zijn gemaakt, de volgorde der sporen niet 1, 2, 3, 4 (mono) resp. 1/2, 3/4 (stereo) is, maar 1, 4, 3, 2 (mono) resp. 1/3, 4/2 (stereo). Een andere reden is, dat het inwendige van de opneem-weergeefkoppen niet naar believen kleiner kan worden gemaakt. Tussen de luchtspleten van de beide systemen van kwartspoorkoppen blijft een spoor vrij (zie fig. 2.17). Ook hieruit volgt weer de hierboven gegeven volgorde der sporen.

In tabel 2.6 zijn de gegevens opgenomen betreffende de speelduur van geluidsbanden bij verschillende bandsnelheden voor halfspoor- resp. kwartspoortechniek. De gegeven waarden gelden voor mono-opname en moeten voor stereo-opname worden gehalveerd.

TABEL 2.6

Spoeldiameter			Band-lengte	Bij 2,4 cm/s		Bij 4,75 cm/s	
				2-spoor	4-spoor	2-spoor	4-spoor
1)	PL 13	13 cm	270 m	2 × 3 uur	4 × 3 uur	2 × 1,5 uur	4 × 1,5 uur
1)	PL 15	15 cm	360 m	2 × 4 uur	4 × 4 uur	2 × 2 uur	4 × 2 uur
1)	PL 18	18 cm	540 m	2 × 6 uur	4 × 6 uur	2 × 3 uur	4 × 3 uur
	PD 8	8 cm	90 m	2 × 1 uur	4 × 1 uur	2 × 30 min	4 × 30 min
	PD 10	10 cm	180 m	2 × 2 uur	4 × 2 uur	2 × 1 uur	4 × 1 uur
2)	PD 13	13 cm	360 m	2 × 4 uur	4 × 4 uur	2 × 2 uur	4 × 2 uur
	PD 15	15 cm	540 m	2 × 6 uur	4 × 6 uur	2 × 3 uur	4 × 3 uur
	PD 18	18 cm	730 m	2 × 8 uur	4 × 8 uur	2 × 4 uur	4 × 4 uur
3)	PT 8	8 cm	135 m	2 × 1,5 uur	4 × 1,5 uur	2 × 45 min	4 × 45 min
3)	PT 10	10 cm	270 m	2 × 3 uur	4 × 3 uur	2 × 1,5 uur	4 × 1,5 uur

Spoeldiameter			Band-lengte	Bij 9,5 cm/s		Bij 19 cm/s	
				2-spoor	4-spoor	2-spoor	4-spoor
1)	PL 13	13 cm	270 m	2 × 45 min	4 × 45 min	2 × 22 min	4 × 22 min
1)	PL 15	15 cm	360 m	2 × 1 uur	4 × 1 uur	2 × 30 min	4 × 30 min
1)	PL 18	18 cm	540 m	2 × 1,5 uur	4 × 1,5 uur	2 × 45 min	4 × 45 min
	PD 8	8 cm	90 m	2 × 15 min	4 × 15 min	2 × 7 min	4 × 7 min
	PD 10	10 cm	180 m	2 × 30 min	4 × 30 min	2 × 15 min	4 × 15 min
2)	PD 13	13 cm	360 m	2 × 1 uur	4 × 1 uur	2 × 30 min	4 × 30 min
	PD 15	15 cm	540 m	2 × 1,5 uur	4 × 1,5 uur	2 × 45 min	4 × 45 min
	PD 18	18 cm	730 m	2 × 2 uur	4 × 2 uur	2 × 1 uur	4 × 1 uur
3)	PT 8	8 cm	135 m	2 × 22 min	4 × 22 min	2 × 11 min	4 × 11 min
3)	PT 10	10 cm	270 m	2 × 45 min	4 × 45 min	2 × 22 min	4 × 22 min

1) Langspeelband 2) Extra-langspeelband 3) Superlangspeelband

Naast de grammofoonplaat en de geluidsband bestaan er natuurlijk nog andere geluidsdragers. Zo bestaat, in hoofdzaak voor toepassing bij de geluidsfilm, het procédé van geluidsregistratie met behulp van lichtvariaties, waarbij de filmstrook als geluidsdrager dient. Waar echter de geluidsfilm door filmamateurs wordt gebruikt, benut men de filmstrook als drager voor een magnetiseerbare laag. Men past hierbij dan het principe van de geluidsband toe.

Bij het bespreken van verschillende typen geluidsdragers mag het Philips-Miller-Systeem niet onvermeld blijven. Met dit systeem maakte men reeds lang voor het verschijnen van de magneetband verbazingwekkend goede geluidsopnamen. Men bereikte namelijk een binnen een marge van $\pm$ 2 dB rechte frequentiekarakteristiek in het gebied van 30 tot 8000 Hz bij een betrekkelijk lange registratietijd. Deze laatste bedroeg 10 minuten, terwijl met behulp van speciale apparatuur zelfs een opnametijd van 30 minuten werd bereikt. Het betreft hier een mechanisch procédé, waarbij als geluidsdrager een filmstrook, de z.g. Philimilstrook, wordt gebruikt. Deze strook

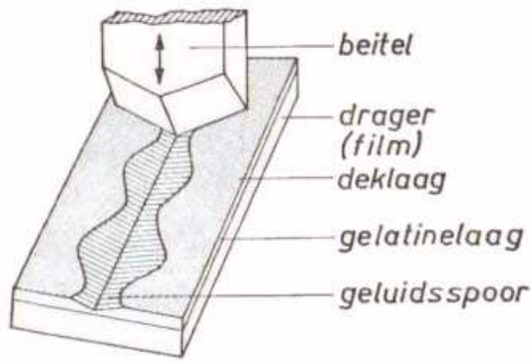


Fig. 2.18. Principe van het Philips-Miller-systeem voor geluidsregistratie.

draagt een doorzichtige gelatinelaag, welke een dikte heeft van ongeveer 60 μm, op welke laag een dunne, ongeveer 3 μm dikke, ondoorzichtige deklaag is aangebracht. Bij de geluidsregistratie snijdt een wigvormige beitel (zie fig. 2.18) uit de gelatinelaag een doorzichtig geluidsspoor tegen een ondoorzichtige achtergrond. Daarbij wordt de Philimilstrook getransporteerd met een snelheid van 45,6 cm/s (de normale transportsnelheid van geluidsfilm). Het aftasten van het geluidsspoor geschiedt op dezelfde wijze als bij het procédé van de geluidsfilm (omzetting van geluidstrillingen in lichtvariaties v.v.), namelijk met behulp van een optiek en een fotocel. Het weergeven kan onmiddellijk na de opname geschieden, hetgeen in verschillende gevallen een uiterst welkome eigenschap van het procédé is.

2.3 Weergave

In overeenstemming met de specifieke eigenschappen van de verschillende geluidsdragers resp. het uiteenlopend karakter van verschillende soorten geluidsopnamen bestaan er ook met betrekking tot de weergave verschillende technieken. Wat de normale techniek van de platenspeler betreft, zou een uitvoerige behandeling hiervan buiten het kader van dit boek vallen, te meer daar deze zulk een algemene bekendheid heeft verworven. Verder bestaat over de functie en het gebruik van bandopnemers speciale literatuur [6, 22, 24]. Aangezien bij iedere vorm van geluidsweergeeftechniek echter steeds een versterker en een luidspreker benodigd zijn, zullen deze onderdelen hier in hoofdzaak worden besproken.

Eerst echter enige opmerkingen over de weergave van grammofoonplaten. Waar in de vorige paragraaf het vastleggen van *L*- en *R*-informatie in één geluidsgroef werd beschreven, zou het nu niet oninteressant zijn het een en ander te vernemen over de omzetting van dergelijke geluidsregistraties in geluid. Het belangrijkste aandeel heeft hierin de pick-up-kop. Van deze hangt voor een belangrijk gedeelte de kwaliteit van de weergave af.

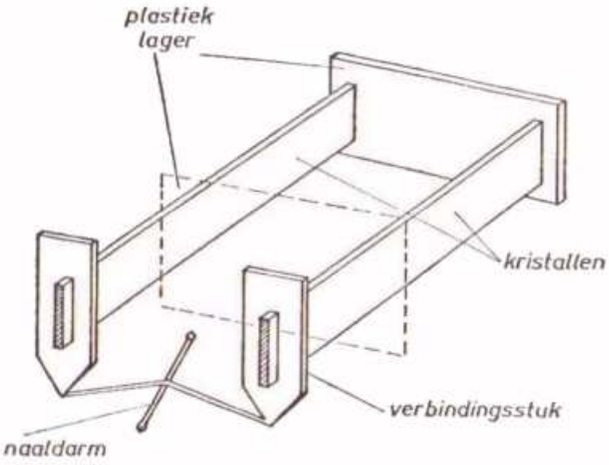


Fig. 2.19. Principe van de constructie van stereo-pick-up-koppen.

Het principe van de constructie van de stereo-pick-up is in fig. 2.19 weergegeven. De aftastnaald is verbonden met twee kristallen, die op torsie worden belast. Beide kristallen zijn aan hun uiteinden door middel van een W-vormig, elastisch verbindingsstuk met elkaar verbonden. De arm waaraan de aftastnaald is bevestigd, raakt dit verbindingsstuk in het midden. Doordat het voorste lager (met een stippellijn in de figuur weergegeven) uit zacht plastic bestaat en het achterste uit hard plastic, is torsie

van de beide kristallen mogelijk [13]. Wanneer nu bijvoorbeeld de rechterwand van de groef is gemoduleerd, voert de naaldarm bewegingen uit die loodrecht op deze wand zijn gericht. Deze bewegingen planten zich via het verbindingsstuk in dezelfde richting voort. Het gevolg hiervan is, dat alleen het rechtersysteem aan torsie wordt blootgesteld, waarbij dit een spanning afgeeft die met de modulatie overeenkomt (zie fig. 2.20a). Op overeenkomstige wijze worden de modulaties van de linkergroefwand voortgeplant, waarbij deze uitsluitend het linkersysteem beïnvloeden (zie fig. 2.20b). Een in de praktijk veel voorkomende situatie is weergegeven in fig. 2.20c.

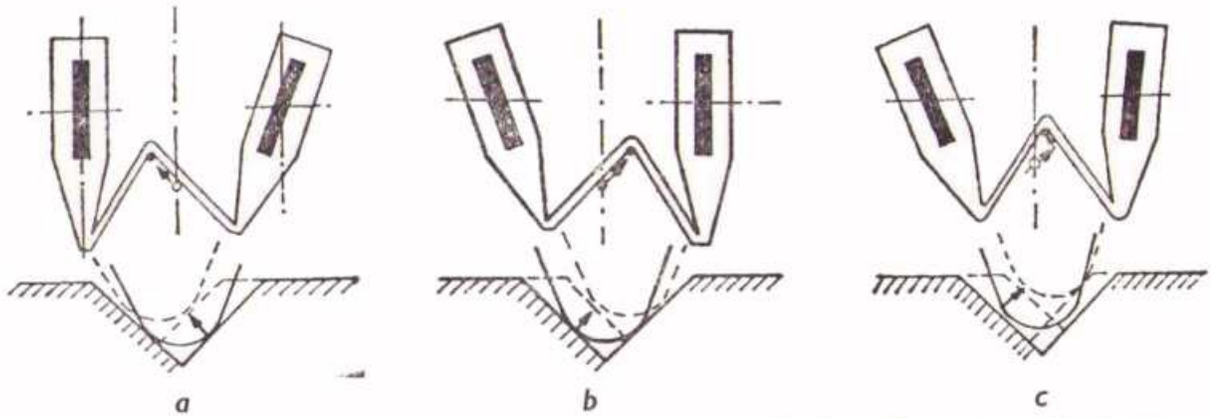


Fig. 2.20. a. Effect van de modulatie in de rechter groefflank op het systeem in de stereo-pick-up-kop.
b. Hetzelfde van de modulatie in de linker groefflank.
c. Gecombineerd effect van de modulaties in beide groefflanken.

Beide groefwanden zijn gelijktijdig gemoduleerd. Het gevolg hiervan is een tordering van beide systemen. De beide informaties worden in de pick-up-kop gescheiden en in elektrische spanningen omgezet. De tekening in fig. 2.21 geeft een indruk van de constructie van een pick-up-kop.

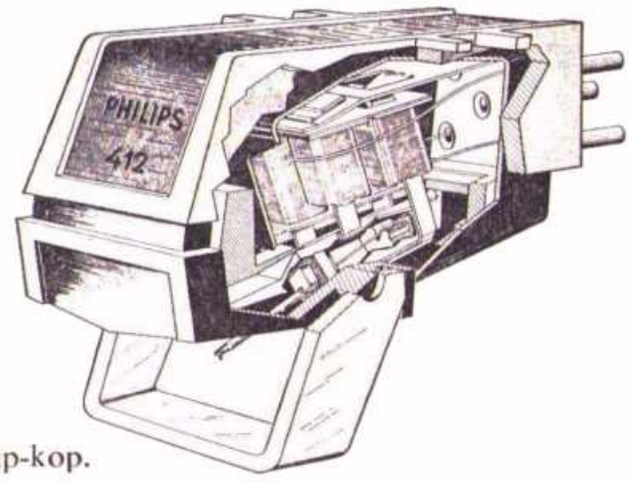


Fig. 2.21. Constructie van een stereo-pick-up-kop.

Zoals reeds in paragraaf 2.2 werd aangehaald, zijn voor de verschillende groeftypen, behalve vaste breedten voor de groeven en maten voor de afronding (straal) van de groefbodem, ook hiermede overeenkomende afrondingsmaten voor de bijbehorende aftastnaalden vastgelegd (zie tabel 2.4). Dientengevolge behoren bij verschillende typen platenspelers verschillende waarden voor de druk waarmee de aftastnaald op de plaat rust, welke waarden strikt dienen te worden aangehouden. Bovendien speelt ook de constructie van het mechanisme een niet te onderschatten rol. Men heeft daarom ook voor afspeelapparatuur voor grammofoonplaten met betrekking tot het gebruik in de huiskamer (Hi-Fi-installaties) bepaalde minimumeisen vastgelegd [4].

Een volledig geslaagde constructie vormt de Hi-Fi-platenspeler GA 230 als opvolger van de AG 2030 [25]. De ontwerpers stelden zich hierbij ten doel een platenspeler te construeren die bij een weloverwogen, op het doel afgestemde constructie aan alle eisen van de Hi-Fi-liefhebbers voldoet. Men liet daarbij de gedachte aan een platenwisselaar varen, daar dergelijke apparaten zo goed als nooit door beoefenaren van de Hi-Fi-techniek worden gebruikt. Bij een Hi-Fi-mechanisme mag de lagering van de pick-up-arm met het oog op de weergavekwaliteit niet worden belast met de bediening van de specifieke onderdelen die voor de besturing van het mechanisme van een wisselaar absoluut nodig zijn. Dit is ook de reden waarom de platenspeler GA 230 niet is voorzien van een door de pick-up-arm bediende netspanningsschakelaar. Wanneer een zijde van een grammofoonplaat is afgespeeld, wordt alleen de pick-up-arm van de plaat gelicht. Eventueel kan ook deze functie worden uitgeschakeld. Een vergemakkelijking van de bediening en tevens een waardevol onderdeel ter bescherming van de platen vormt het mechanisme voor het opzetten van de pick-up. Door middel van een hefboom kan de pick-up-arm op iedere willekeurige plaats zeer zorgvuldig op de grammofoonplaat worden neergelaten alsook van de plaat worden gelicht. De toegepaste constructie laat ook de mogelijkheid toe van halfautomatisch neerlaten van de pick-up-arm met behulp van een semi-hydraulische dempingsinrichting. Deze inrichting functioneert onafhankelijk van het mechanisme en maakt het plaatsen van de pick-up op ieder willekeurig punt, ook in de onmiddellijke nabijheid van de eindgroef, mogelijk.

Het ligt voor de hand dat een dergelijke platenspeler ook met een pick-up-kop van hoge kwaliteit werd toegerust. Het betreft hier het type GP 407, dat werkt volgens het magnetodynamische principe. Dit principe werkt als

volgt. De naaldhouder, waarbij aan de voorkant een diamantnaald is bevestigd, loopt aan het achtereinde uit in een verwijding, die een houder vormt waarin een klein staafje van ferroxdure is bevestigd. Dit staafje is elastisch tussen de poolparen van twee inductiespoelen opgehangen en kan trillingen in twee vlakken uitvoeren, waardoor het alle uitwijkingen in een stereo-geluidsgroef kan volgen. Door de bewegingen van de aftastnaald, die zich voortplanten door de houder met de magneetstaaf, worden in de bij de poolparen behorende spoelen twee spanningen geïnduceerd, die overeenkomen met de bewegingen van de aftastnaald.

De voordelen van dit systeem zijn gelegen in de rechtstreekse verbinding tussen de aftastnaald en het magneetstaafje via de zeer onbuigzame naaldhouder, alsook in de buitengewoon geringe massa van het trillende systeem. Aangezien voor de afgegeven spanning, zoals bij alle dynamische pick-ups, een extra versterking met gelijktijdige correctie overeenkomstig de opnamekarakteristiek van de grammofoonplaten nodig is, moet de platenspeler worden aangevuld met een getransistoriseerde voorversterker. Het frequentieverloop van de pick-up is tussen 20 Hz en 20 kHz binnen een marge van 2,5 dB vrijwel recht. Fig. 2.22 toont het resonantievrije verloop van de frequentiekarakteristiek van de pick-up en de voorversterker over het gehele hoorbare gebied. Hierbij dient te worden vermeld dat iedere pick-up-kop op de fabriek van een meetstrookje wordt voorzien, dat de speciale karakteristiek ervan weergeeft.

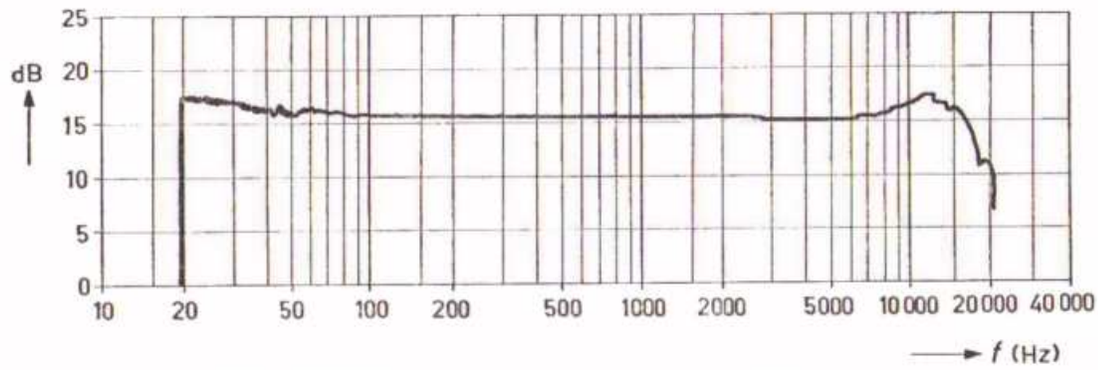


Fig. 2.22. Frequentieverloop van de pick-up-kop.

Met betrekking tot het gebruik van de Hi-Fi-platenspeler GA 230 moet nog worden opgemerkt, dat hiermee ook grammofoonplaten met standaardgroef voor 78 t./min kunnen worden afgespeeld. Voor dit doel is de pick-up-kop GP 409 met een voor dit type groef geschikte naald verkrijgbaar.

Bovendien kunnen met behulp van de Universal Shell EG 7036 pick-upkoppen met internationaal genormaliseerde bevestigingsafstand en naalddrukken $\geqq$ 1 p worden gebruikt. Wie de Hi-Fi-platenspeler niet als tafelmodel wenst te hebben, kan in plaats van het type GA 230 een uitvoering die verkrijgbaar is onder het codenummer GC 030 als chassis voor inbouw kiezen.

Zowel platenspelers als bandopnemers geven signalen af, waarmee versterkers en luidsprekers, die erop worden aangesloten, worden gestuurd. Het gebruiksgebied van de bandopnemer, als op zich zelf staand apparaat, is zeer groot en veelzijdig [22, 24]. De bandopnemer kan met behulp van een rijk assortiment aan accessoires voor velerlei doeleinden bruikbaar worden gemaakt [26]. Wij willen in dit verband slechts herinneren aan automatische bedieningsapparatuur voor diaprojectie, diverse inrichtingen voor afstandsbediening, voetschakelaars, telefoonadapters, hoofdtelefoons e.a. Ook voor bandopneemapparatuur voor amateurdoeleinden (Hi-Fi) bestaan bepaalde minimumeisen met betrekking tot het gebruiksgebied waarvoor zij is bestemd [4]. In het volgende zullen wij ons nu verder bepalen tot versterkers en luidsprekers, daar dit onderdelen zijn, waarvan bij iedere vorm van geluidsweergave gebruik wordt gemaakt.

Reeds aan het begin van Hoofdstuk 1 werd een overzicht gegeven van de verschillende methoden die men, voor de stereofonie op ruime schaal ingang vond, toepaste om een zo hoog mogelijke weergavekwaliteit, in het bijzonder met het oog op gebruik in de huiskamer, te verkrijgen [3]. Men trachtte met behulp van de ter beschikking staande middelen het z.g. sleutelgateffect op te heffen door het geluid diffuus te maken (zie fig. 1.1).

Over het frequentiebereik van Hi-Fi-apparatuur resp. installaties is reeds in par. 1.3 het een en ander gezegd [14, 15]. Bij versterkers voor gebruik in de huiskamer (Hi-Fi) [4] is de minimumeis ten aanzien van het te versterken frequentiegebied gesteld op ten minste 40 . . . 16 000 Hz. De toegelaten afwijkingen van de frequentiekarakteristiek bij 1000 Hz bedragen voor lineaire ingangen $\pm$ 1,5 dB en voor gecompenseerde ingangen $\pm$ 2 dB. Bij volledig uitsturen wordt 6 dB gemeten. Dit is natuurlijk slechts (zoals de naam ook reeds zegt) een van de minimumeisen. De gegevens betekenen helemaal niet dat boven 16 000 Hz geen versterking meer plaatsvindt! Op dit punt is het goed ons nog eens een duidelijk beeld te vormen van de frequentiegebieden die door de verschillende muziekinstrumenten, stemmen en andere geluidsbronnen worden bestreken. De grafiek in fig. 2.23 geeft

hiervan een bijzonder duidelijk overzicht [7]. De bijgeluiden bij het aanblazen, aanstrijken enz. zijn daarin met dikke lijnen weergegeven. Een bepaalde klacht is algemeen [27]: „Veel geluidsamateurs en muziekliefhebbers worden ten aanzien van de eigenschappen van hun vaak kwalitatief uitstekende geluidsinstallaties onnodig in het ongewisse gelaten. Bij het aanschaffen van nieuwe apparatuur kunnen zij vaak zeer moeilijk een keus maken, daar zij niet weten, welke eisen zij moeten stellen. Ook de ontwerper heeft, bij het uitdenken van nieuwe typen installaties, met dit probleem te maken. Bij de verdere beschouwingen in deze paragraaf moet men steeds als uitgangspunt zien, dat de beslissing ten aanzien van de in het opschrift van par. 1.3 gestelde vraag definitief ten gunste van de stereofonie is uitgevallen. Het zou anders niet nodig zijn in dit bestek beschouwingen te wijden aan weergavekwaliteit en wat daarmee samenhangt. Dit doet overigens niets af aan de noodzaak om, bij de aanschaffing van een elektro-akoestische of Hi-Fi-installatie, de eisen waaraan deze moet voldoen, nauwkeurig te

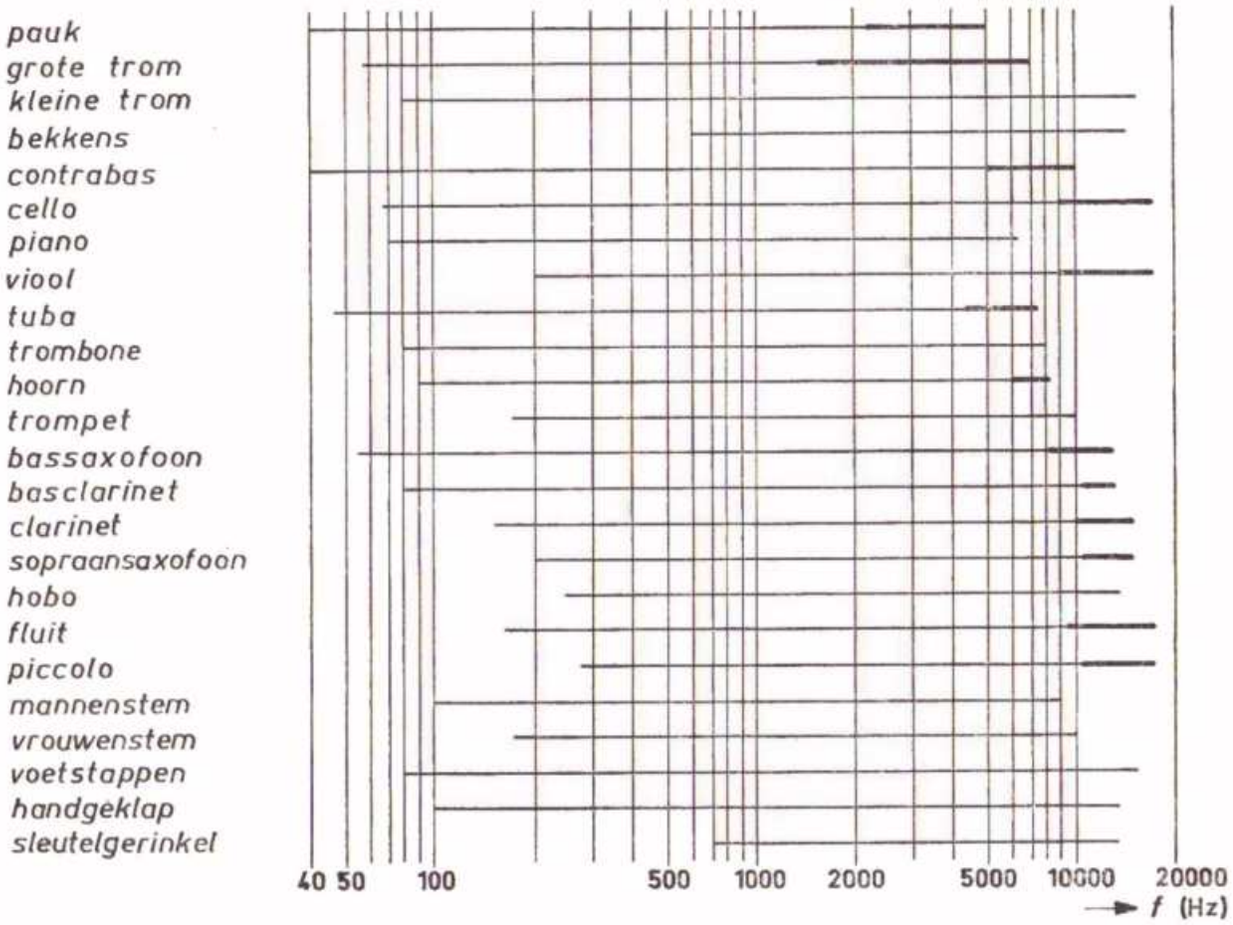


Fig. 2.23. Frequentiegebieden van verschillende muziekinstrumenten, stemmen en andere geluiden. De begeleidende geluiden bij het aanblazen, aanstrijken enz. zijn in de figuur met dik getrokken lijnen aangeduid.

overwegen. Juist bij kopers die geen speciale kennis op dit gebied bezitten, leiden té vaak bepaalde aspecten van niet-technische aard, zoals de prijs, de afmetingen of het uiterlijk, tot een beslissing, die later dikwijls slechts met veel extra kosten kan worden gecorrigeerd. Of men tevreden is of ontevreden over een bepaalde installatie blijkt dikwijls ook pas na een bepaalde periode van gebruik.

TABEL 2.7

Zaalvolume (m^3)	Sterk gedempte zaal (W)	Normaal gedempte zaal (W)	Zaal met nagalm (W)
100 . . . 500	2 . . . 4	1 . . . 3	0,5 . . . 1,5
500 . . . 5000	5 . . . 30	1 . . . 15	0,8 . . . 3
> 5000	> 40	> 20	> 5

In tabel 2.7 zijn gegevens vermeld betreffende het minimaal vereiste vermogen van een versterker voor vertrekken, waarin verder volledige stilte heerst. De vermelde waarden gelden uitsluitend bij volledige stilte. Zij moeten bij een middelmatig niveau van storende geluiden worden vermenigvuldigd met een factor 2 . . . 5 en bij een hoog niveau hiervan, zoals bijvoorbeeld in restaurants, zelfs met een factor 5 . . . 20 [13].

Hierbij een voorbeeld voor de geluidsvoorziening van een vertrek van 25 m lang, 16 m breed en 10 m hoog, hetgeen overeenkomt met een inhoud van 4000 m^3. Zou het hier de inwendige ruimte van een kerk met de normaal hierin aanwezige nagalm betreffen, dan zou het vereiste vermogen van de versterker ongeveer 5 W bedragen. In een lawaaierig restaurantbedrijf zou men in een vertrek van dezelfde inhoud met ongeveer 35 W misschien net uitkomen. Men kan als regel aannemen, dat bij het bepalen van het vereiste vermogen van de versterker een ruime marge nooit schaadt. Daarbij moet men natuurlijk nooit overdrijven.

Een voor woonvertrekken van gemiddelde grootte en inrichting goed geschikte stereoversterker is de versterker type AG 9016. Deze levert een uitgangsvermogen van 2 × 2 W. De schakeling is weergegeven in fig. 2.24 [28]. Het betreft hier slechts een enkel voorbeeld van een versterker met buizen, daar het onmogelijk is om in het kader van dit boek een min of meer volledige reeks schakelingen voor stereoversterkers te geven. Zoals reeds meermalen onder de aandacht werd gebracht, moet een stereoversterker altijd bestaan uit een combinatie van twee Hi-Fi-versterkers. Laatst-

genoemde zijn elders uitvoerig behandeld [15]. Eén bepaalde categorie versterkers verdient echter wel speciale vermelding. Het betreft hier de versterkers zonder uitgangstransformator.

De totstandkoming van de „transformatorloze" eindtrap vindt haar oorzaak in het streven om de uitgangstransformator, die een latente bron is van allerlei vervormingsverschijnselen (zie Hoofdstuk 6), uit de schakeling te verwijderen. Zodoende kwam een onderdeel, waaraan allerlei nadelen verbonden waren, te vervallen. Men kreeg de beschikking over de mogelijkheid stabiele schakelingen, bij welke de totale vervorming slechts een gering gedeelte vormt van de vervormingen in de eerste versterkertrap. Voor schakelingen met buizen werd een eindpentode (EL 86) ontwikkeld. Voor deze schakelingen waren luidsprekers nodig met een hogere impedantie dan voorheen gebruikelijk was. Op deze wijze kwam men tot de

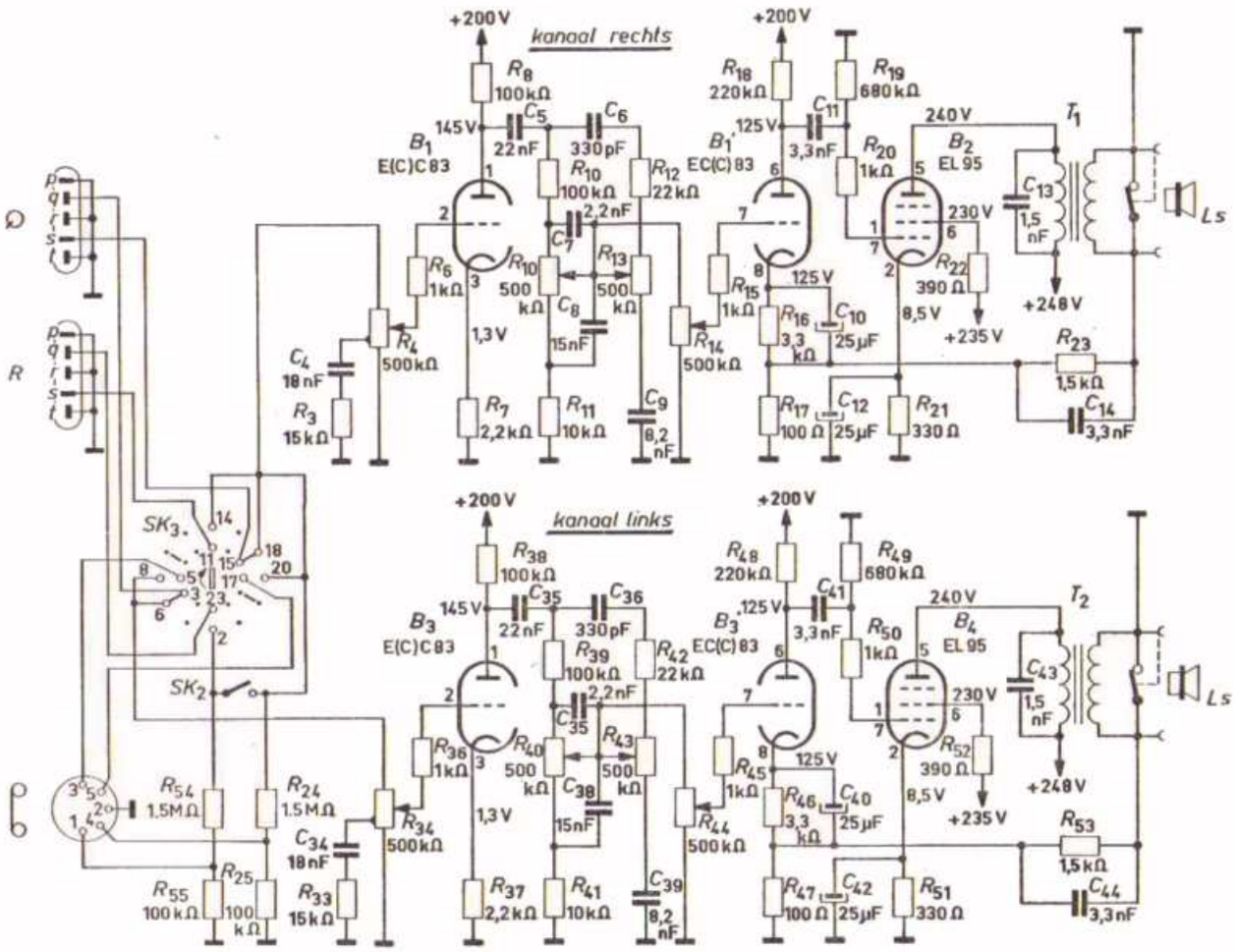


Fig. 2.24. Schakelschema voor de stereoversterker AG 9016. Het voedinggedeelte is ten behoeve van de overzichtelijkheid weggelaten. Het uitgangsvermogen bedraagt 2 × 2 W.

luidsprekers met impedanties van 400 resp. 800 Ω. Twee buizen van het type EL 86 kunnen in een hiertoe ontworpen schakeling aan een luidspreker van 800 Ω een vermogen van 10 W afgeven [29]. Tengevolge van de steeds verder voortschrijdende ontwikkeling op het gebied van de transistors en de schakelingen met transistors zijn inmiddels ook soortgelijke transistorschakelingen zonder uitgangstransformator bekend geworden [30, 31]. Fig. 2.25 toont de schakeling van een van de beide (gelijke) versterkerkanalen. Het uitgangsvermogen bedraagt per versterker 10 W.

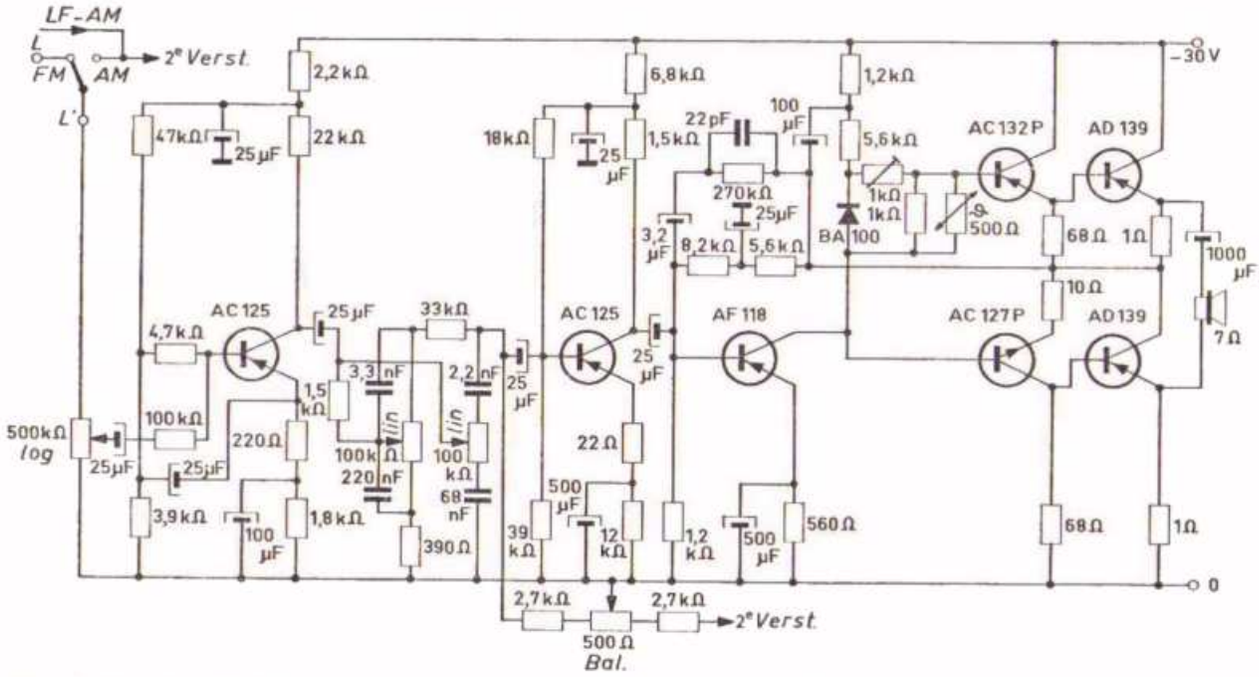


Fig. 2.25. Schakelschema voor een versterkerkanaal met transistors. Het uitgangsvermogen van een kanaal bedraagt 10 W.

De laatste schakel in de keten wordt gevormd door de luidspreker, die, om aan de modernste kwaliteitseisen te voldoen, tegenwoordig wordt ondergebracht in een z.g. luidsprekerkast. Wat dit onderdeel betreft, heeft de technicus het niet in de hand eventueel wijzigingen in het mechanisme aan te brengen; hij moet het als een onveranderlijke grootheid accepteren. Dit is een reden te meer om de keuze uiterst nauwkeurig af te stemmen op het beoogde gebruik. Ook voor luidsprekers in Hi-Fi-installaties bestaan er minimumeisen [4]. Normaal gesproken is de technicus aangewezen op de door de fabrikant gepubliceerde gegevens, daar hij deze in de regel niet op hun juistheid kan toetsen, omdat hij niet over de daartoe benodigde apparatuur beschikt. Maar zelfs als men wél over de mogelijkheid beschikt

om metingen te verrichten, zijn verrassingen tengevolge van verschillende individuele beoordelingen niet uitgesloten, zoals het volgende voorbeeld laat zien [32]. Met behulp van twee luidsprekerkasten van verschillend volume werd een luisterproef genomen. De geluidsdrukkrommen, de percentages niet-lineaire vervorming en ook de eigenschappen met betrekking tot het in- en uitslingeren van de beide kasten waren bij benadering aan elkaar gelijk. Bij de kleine kast vertoonde de opgenomen meetstrook een iets beter verloop van de geluidsdruk bij de lage tonen. Beide kasten hadden gelijke impedanties en werden afwisselend door dezelfde versterker gevoed. Zij waren op dezelfde geluidssterkte ingesteld en voor de personen die aan de proef deelnamen onzichtbaar opgesteld, waarbij zij alleen met nummers waren aangeduid. Voor de luisterproef maakte men gebruik van enkele muziekstukken waarin kritische passages voorkwamen. Na de luisterproef was er geen sprake van een gelijke beoordeling van de kasten. Zelfs niet bij benadering. Integendeel, de aanwezigen waren het unaniem erover eens, dat de kast met het nummer dat bij de kleine kast bleek te behoren, o.a. een zwakkere weergave in de lage tonen had. Toen daarna de meetwaarden bekend werden gemaakt, kon niemand van de deelnemers de tegenstelling tussen de (later op hun juistheid gecontroleerde) meetwaarden en de daarvan afwijkende auditieve indruk verklaren.

Dat fabrikanten slechts zeer zelden gegevens verstrekken over distorsiepercentages van luidsprekers, heeft een simpele reden: een luidspreker, althans de meest verbreide dynamische luidspreker, bezit geen distorsiepercentage dat onafhankelijk is van de frequentie of in verhouding met de frequentie verandert [33]. Het distorsiepercentage van een dergelijke luidspreker, dat bijvoorbeeld bij 1000 Hz minder dan 1% bedraagt, kan reeds bij 1100 Hz een waarde aannemen, die als storend wordt ervaren. Dit verschijnsel vindt zijn oorzaak in de partiële trillingen van de membraan, die alleen in de laagste frequentiegebieden gelijkmatig als een zuiger heen en weer gaat. De frequenties, waarbij dergelijke partiële trillingen van de membraan optreden, liggen bij ieder type en ieder formaat luidspreker weer anders.

Daarentegen is de situatie anders bij distorsie, die door te grote uitwijking van de spreekspoel ontstaat, in het bijzonder in het gebied rondom de eigen resonantie van de luidspreker. Dit is een factor waarop degene die de luidspreker inbouwt, reeds invloed kan uitoefenen. Maar ook hier is de technicus erop aangewezen, dat hem de problematiek die hierbij naar voren komt, bijv. door de fabrikant van de luidsprekerkasten, wordt bespaard.

Welke invloed kan nu de technicus over het algemeen op de luidsprekers uitoefenen? Deze vraag kan ondubbelzinnig worden beantwoord: hij kan de opstelling van de luidsprekers bepalen. Deze is namelijk juist bij de stereoweergave van beslissende invloed. Het principe van de juiste luidsprekeropstelling voor stereofonische geluidsweergave is weergegeven in fig. 2.26. De richtingsindruk wordt opgeroepen door intensiteits- en tijdverschillen tussen de luidsprekers, of beter gezegd: door verschillen in tijd en geluidssterkte, die de luisteraar tussen de luidsprekers waarneemt [1].

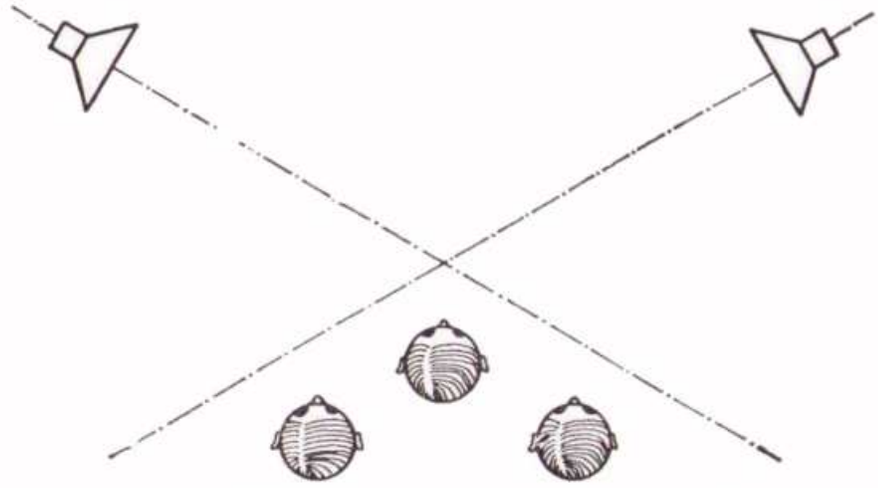


Fig. 2.26. Principe voor een goede luidsprekeropstelling bij stereofonische geluidsweergave.

Wil men dat de waargenomen verschillen volkomen overeenstemmen met de werkelijk tussen de luidsprekers aanwezige verschillen, dan moet de luisteraar zich op precies dezelfde afstand van de beide luidsprekers bevinden, d.w.z. in het midden van de fictieve verbindingslijn tussen beide luidsprekers. Zouden nu echter meer personen willen luisteren, dan zouden zij theoretisch achter elkaar moeten zitten. Dit zouden de betrokkenen misschien aanvankelijk wel leuk vinden, maar het kan toch weinig bevorderlijk voor een gezellig bijeenzijn worden genoemd. Daarom wordt het gebruik aanbevolen van luidsprekers met een bepaalde richtingskarakteristiek, waarbij de luisteraars worden geplaatst achter het snijpunt van de doorgetrokken hartlijnen van de luidsprekers (zie fig. 2.26).

Bij toepassing van dit principe in een grote ruimte ontstaat de situatie die is weergegeven in fig. 2.27. Als de geluidsbron zich schijnbaar tussen de beide luidsprekers beweegt, dan wordt de beste richtingswaarneming verkregen in het punt waar zich de luisteraar *H* bevindt [11]. Voor de

luisteraar *HW* is de beweging van de geluidsbron tussen de luidsprekers voor zijn gehoor kleiner. In dit verband zij nogmaals herinnerd aan het in par. 1.3 beschreven verschijnsel van personen, die tevreden zijn met een plaats op de achterste rijen in een concertzaal, daar zij niet in staat zijn verschillen waar te nemen.

Het gehoor als „akoestische analysator" garandeert niet alleen de weerspiegeling in het geluidsbeeld van amplitude, frequentie en vorm van de geluidsgolven, maar ook van de positie van een geluidsbron in het vertrek, d.w.z. van hun afstand en hun richting ten opzichte van de waarnemer [34].

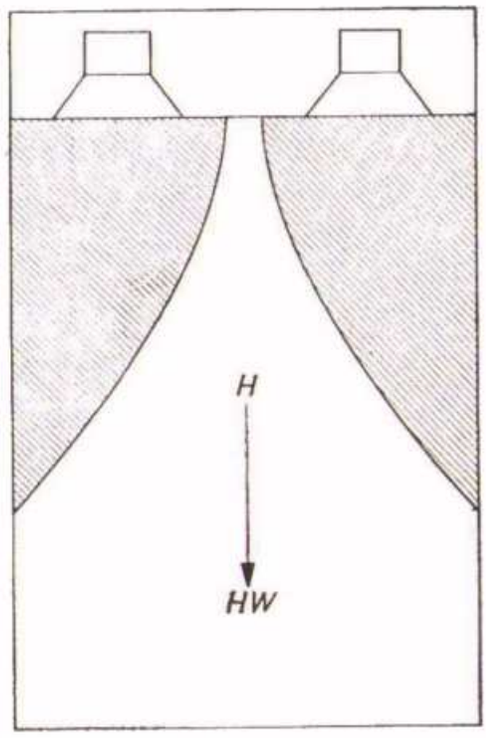


Fig. 2.27. Toepassing van de principiële opstelling uit fig. 2.26 in een vertrek (zaal).

Volgens door sommige auteurs verstrekte gegevens, worden korte afstanden in de orde van grootte van 1—2 m tamelijk grof, n.l. ten hoogste op ongeveer 10 cm nauwkeurig, geschat. Met een vergroting van de afstand tot ongeveer 3 m verdubbelt de nauwkeurigheid waarmee de afstand wordt geschat, om vervolgens bij een verdere verwijdering van de geluidsbron tot 4 m weer te dalen, al blijft de nauwkeurigheid wel groter dan bij de afstand van 2 m. Bovendien moet hierbij verder nog naar voren worden gebracht, dat met het gehoor de afstand tot een bewegende geluidsbron nauwkeuriger wordt bepaald dan die tot een stilstaande geluidsbron. Hieruit volgt als logische consequentie, dat de gunstigste afstand tussen de luidsprekers en de toehoorders is gelegen in het gebied rondom ca. 3 m.

Een factor die een beperkende invloed kan hebben op de mogelijkheid van Hi-Fi- en stereoweergave in onze woonkamer, is de omstandigheid, dat veel huisvrouwen hun woonkamer niet door de vereiste luidsprekerkasten en aansluitsnoeren willen laten ontsieren [27]. Hiermee wil niet gezegd zijn, dat een van de voorwaarden voor werkelijkheidsgetrouwe weergave is, dat de luisteraar alleen is. Integendeel, het muziekgenot kan in gezelschap nog verhoogd worden. Meestal is er wel een mogelijkheid te vinden om luidsprekerkasten van een dusdanige vorm te kiezen en ze zodanig op te stellen, dat we niet alleen tot een technisch juiste, maar ook tot een esthetisch acceptabele oplossing komen. In ieder geval maakt de stereofonie ons dit niet gemakkelijk. Het kan daarom soms nodig zijn, de beide luidsprekers in een en dezelfde kast onder te brengen, hetgeen kan geschieden op de wijze welke is weergegeven in fig. 2.28.

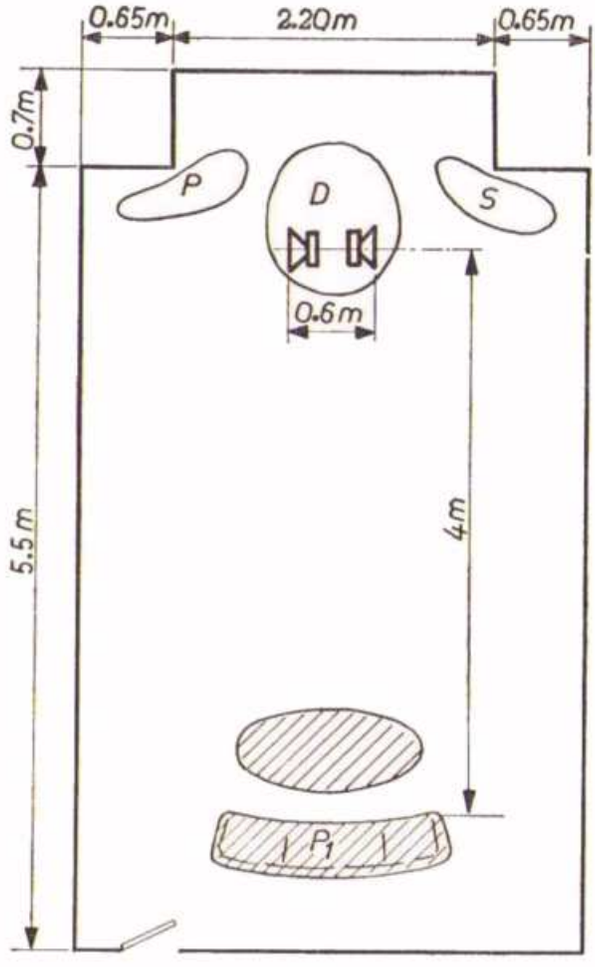


Fig. 2.28. Proefopstelling voor het bepalen van de schijnbare plaatsing van muziekinstrumenten bij stereoweergave.

Tijdens een proefneming werd een grammofoonplaat van een klein jazzensemble (piano, drums en saxofoon) voor 12 toehoorders afgespeeld. Aan de toehoorders werd gevraagd de schijnbare opstelling van de instrumenten

op een plattegrond van de kamer te tekenen. Het resultaat is eveneens in fig. 2.28 weergegeven (P = piano, D = drums, S = saxofoon). Een dergelijk voorbeeld doet natuurlijk niets af aan het feit dat er betere luidsprekeropstellingen bestaan. De bedoeling van het voorbeeld was slechts een mogelijkheid aan te duiden, tot welke men in geval van nood eventueel zijn toevlucht zou kunnen nemen.

Aangezien bij lage frequenties, op grond van hun intensiteitsverschillen, nauwelijks enig richtingseffect optreedt, bestaat ook de mogelijkheid om bij een stereo-installatie de lage tonen via één in het midden opgestelde luidspreker weer te geven. Een voor dit doel geschikt schema is in fig. 2.29 gegeven. De scheiding in twee frequentiegebieden geschiedt door middel van een scheidingsfilter, dat soms ook, vanwege de toepassing in stereo-installaties, stereoscheidingsfilter wordt genoemd.

De aansluiting van platenspelers en bandopnemers op stereoversterkers geschiedt met behulp van de in fig. 2.3a weergegeven contactstop (DIN

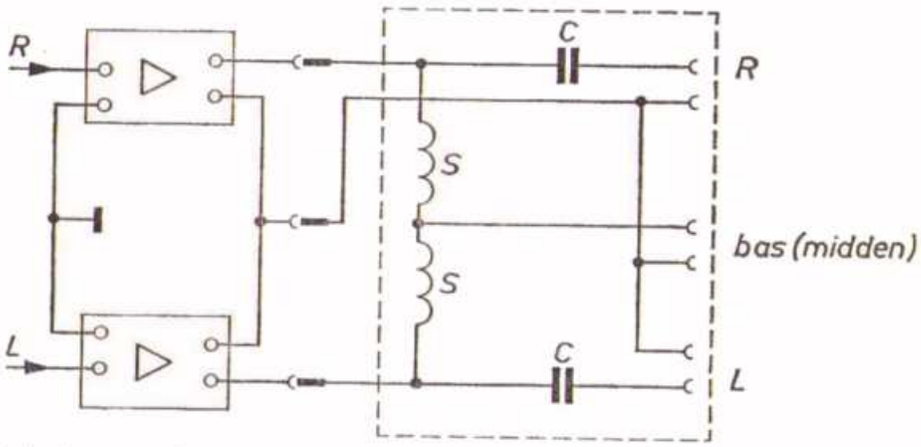


Fig. 2.29. Principe van het stereoscheidingsfilter. Met dit filter is het mogelijk de lage frequenties via een op beide kanalen aangesloten, in het midden opgestelde, luidspreker weer te geven, daar bij deze frequenties zo goed als geen zijdelingse lokalisatie optreedt.

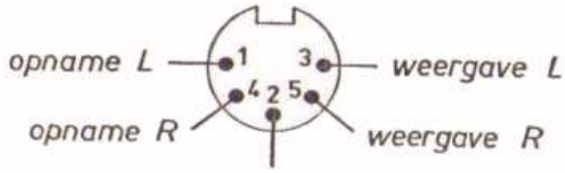


Fig. 2.30. Indeling der aansluitpennen van de DIN-contactstop voor de weergave van grammofoonplaten en geluidsbandopnamen.

41524) volgens de schakeling welke in fig. 2.30 is gegeven. Niet gebruikte contactpennen blijven vrij, zoals bijv. bij het aansluiten van een FM-ontvanggedeelte (Tuner) de pennen 1 en 4 enz. Voor het aansluiten van de luidsprekers zijn andere contactstoppen ingevoerd (DIN 41529). Deze hebben een platte middenpen en een ronde pen aan de zijkant. Door dit systeem is steeds de aansluiting van de luidsprekers in de juiste fase gewaarborgd, wanneer deze op eenzelfde versterker worden aangesloten.

HOOFDSTUK 3

HF-STEREOFONIE

Reeds aan het begin van paragraaf 1.1 citeerden wij de kernachtige uitspraak: „De mens heeft van nature een stereofonisch gehoor" [5]. Ook aan het begin van dit hoofdstuk, waarin de HF-stereofonie wordt behandeld, is dit citaat ten volle op zijn plaats. Als men de stereofonie beschouwt als de enige zinvolle voortzetting van de ontwikkeling der Hi-Fi-techniek [20], wat door de ontwikkeling op het LF-gebied voldoende is bevestigd, geldt dit logischerwijze ook voor het HF-gebied. Het zou wel absurd zijn geweest, als de techniek hier pas op de plaats zou hebben gemaakt. Aan de andere kant moest men, bij de invoering van de HF-stereofonie, het luisterpubliek een systeem aanbieden, waarin alle „kinderziektes" waren overwonnen, daar de kritische luisteraar voortdurend over de mogelijkheid beschikt vergelijkingen te maken met goede mono-radio-uitzendingen en kwalitatief uitstekende grammofoonopnamen.

3.1 Ontwikkeling

De ontwikkeling van de HF-stereofonie heeft een bepaalde tijd nodig gehad. De eerste stereo-radio-uitzendingen geschiedden via gewone middengolfzenders. Men maakte voor elk der beide LF-kanalen gebruik van een afzonderlijke zender. Dit had dan wel het voordeel dat men deze uitzendingen ook met normale mono-ontvangers kon beluisteren, maar er stonden belangrijke nadelen tegenover. Het belangrijkste nadeel was daarbij niet dat men twee, zoveel mogelijk overeenkomstige, ontvangers nodig had, maar dat men met één ontvanger geen monofone overdracht kon verkrijgen. Immers een mono-ontvanger maakt bij dit systeem slechts één van beide geluidskanalen hoorbaar. Als men zich goed realiseert wat dit betekent, komt men tot de conclusie, dat op deze wijze een ontvanger dus noch een monofone noch een monaurale reproduktie van het uitgezonden programma geeft. Wat men hierbij verkreeg was slechts „halve stereofonie".

Dan waren er nog enkele nadelen aan het systeem verbonden. Het zou

bijv. niet verantwoord zijn geweest om in het toch al overvolle middengolfgebied voor iedere stereo-uitzending naast de oorspronkelijke nog een tweede zender te reserveren. Bovendien hield de voor moderne begrippen smalle bandbreedte der middengolfzenders geen mogelijkheid in voor uitzendingen op Hi-Fi-niveau. Op grond van deze fundamentele nadelen was de HF-stereofonie duidelijk op het FM-gebied aangewezen.

Daarmee mogen niet alle in deze beginperiode gedane pogingen om tot HF-stereofonie te komen, als zonder betekenis worden afgedaan.

In Nederland heeft men reeds vroeg met behulp van het systeem met twee zenders stereo-uitzendingen verzorgd, aangezien een internationaal genormaliseerd procédé (zie par. 3.2) eerst later tot stand kwam. Zo zond men zelfs voor het eerst op 26-1-1960 een hoorspel in stereo uit. Het betrof hier de thriller „Even schuilen" van Eileen Burke en Lione Stewart in de bewerking van Léon Povel.

Het hierna beschreven pilootsignaalsysteem (zie par. 3.2) maakt tegenwoordig stereo-uitzendingen mogelijk met Hi-Fi-kwaliteit via één FM-zender. Deze uitzendingen kunnen ook met een mono-ontvanger worden ontvangen en weergegeven; zij zijn z.g. compatibel (zie par. 2.2).

Dit systeem werd in mei 1963 in Nederland ingevoerd. Na enige voorafgaande proefuitzendingen begon men begin september 1963 in Duitsland het eerst met de officiële stereo-uitzendingen in Berlijn en later in Hamburg en andere plaatsen in West-Duitsland [35, 36]. Al een jaar eerder beschikte men over een uitgebreid net van FM-zenders [37]. Aan het begin van 1965 verzorgden in het zendgebied van zeven Westduitse omroeporganisaties reeds 25 zenders van 5 organisaties HF-stereo-uitzendingen [38]. Tot midden 1965 sloten zich hierbij nog 20 zenders aan. Het gevolg was, dat binnen het zendgebied van genoemde 7 radio-omroeporganisaties sedertdien ongeveer 80 . . . 100% van de luisteraars stereoprogramma's kan ontvangen. Hiervoor waren in de eerste plaats technische voorzieningen aan de zenders nodig. Wat de verzorging van de stereoprogramma's betreft, deze lopen bij de verschillende zendorganisaties nogal sterk uiteen. Naast proefuitzendingen vindt men programma's van populaire muziek en hoorspelen, maar ook orkestconcerten en opera-uitvoeringen. Daarbij is de duur van de stereo-uitzendingen, d.w.z. hun aandeel in de totale zendtijd, eveneens nogal verschillend.

Ook in Nederland is een grote activiteit op het gebied van de radio-omroep in stereo waar te nemen. Zo zijn de zenders Lopik I en II, respectievelijk in de kanalen 19 en 33 (elk met een vermogen van 50 kW), bijv. al

sedert het begin van 1964 voor stereo-uitzendingen ingericht. Stereo-uitzendingen vormen bij deze zenders een integrerend gedeelte van het programma. De studio's zijn volledig voor stereo ingericht. Ook het wereldberoemde Concertgebouw te Amsterdam is uitgerust met een stereoregietableau, zodat van hieruit regelmatig stereo-uitzendingen kunnen worden verzorgd [35].

Dit zijn in grote trekken enige gegevens, die de ontwikkeling van de HF-stereofonie in West-Europa kenschetsen. Men maakt hierbij uniform gebruik van het in de volgende paragraaf beschreven pilootsignaalsysteem. Dit systeem werd in april 1961 door de FCC (Federal Communications Commission; een regeringsorgaan dat controle uitoefent op de radiozenders) tot standaardsysteem gekozen voor de technische voorzieningen aan FM-zenders voor het uitzenden van stereofonische programma's [39]. Aan deze beslissing waren langdurige en zorgvuldige onderzoekingen van een groot aantal ingediende HF-stereosystemen voorafgegaan. Uit ongeveer 16 voorgestelde systemen werden er 8, die ten aanzien van de toegepaste methodiek tot 6 verschillende groepen behoorden, geselecteerd voor een nadere keuze. In de loop van het jaar 1960 werden met 6 van deze systemen omvangrijke proeven uitgevoerd en proefopnamen op geluidsband gemaakt, waarna de resultaten aan de FCC werden doorgegeven.

De FCC besloot daarna de keuze te bepalen op een systeem, waaraan de bijna identieke systemen van de General Electric Company en de Zenith Radio Corporation ten grondslag liggen. Daarom wordt het pilootfrequentiesysteem ook wel FCC-systeem genoemd. Het werd door de EBU (European Broadcasting Union) ook voor Europa aangenomen.

3.2 Het pilootsignaalsysteem

Zoals de lezer reeds uit de vorige paragraaf zal hebben begrepen, wordt bij het tegenwoordig algemeen toegepaste systeem voor HF-stereofonie voor de overdracht van de beide stereosignalen slechts één zender gebruikt. Het ligt voor de hand, dat de beide informaties niet zonder meer samengevoegd kunnen worden. Voor het complexe signaal dat bij de stereogrammofoonplaat in één groef is ondergebracht, zijn niettemin de beide groefflanken nodig. Wat zou men krijgen, als men van de weg tussen zender en ontvanger afwisselend van het *R*-signaal (het rechtersignaal) en van het *L*-signaal (het linkersignaal) gebruik zou maken? Bij voldoend snelle opeenvolging van de wisselingen zou het gehoor deze waarschijnlijk niet meer kunnen volgen!

Deze en soortgelijke overwegingen hebben in feite geleid tot het pilootsignaalsysteem. Het schema in fig. 3.1 geeft een illustratie van dit principe [40]. In zekere zin bevindt zich zowel aan de zijde van de zender als aan die van de ontvanger een schakelaar. De beide schakelaars worden tegelijkertijd in een ritme van 38 kHz tussen het rechter- en het linkerkanaal omgeschakeld. Dit alles doet in de verte denken aan de van ouds bekende interruptor met synchroondetectie. In tegenstelling met genoemde interruptor ontbreekt hier echter de door de starre koppeling van de beide contacten absoluut noodzakelijke synchronisatie.

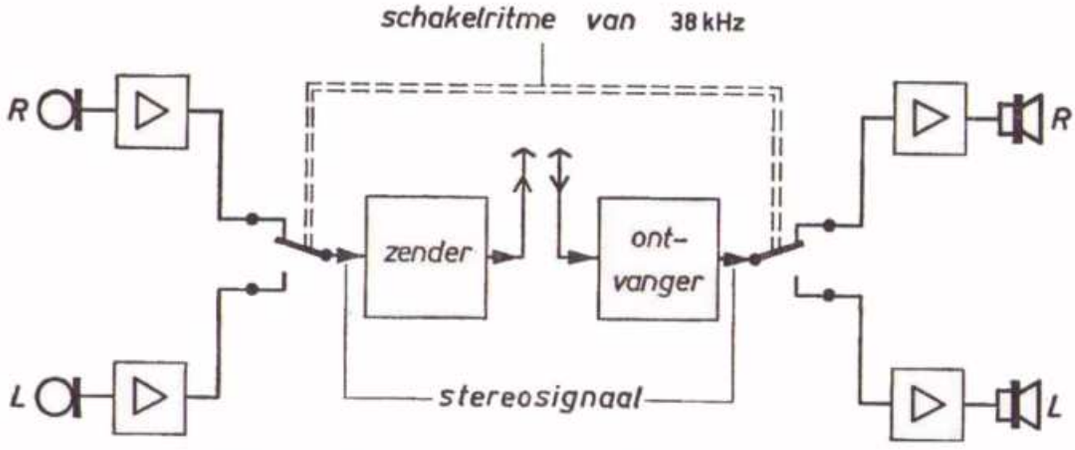


Fig. 3.1. Principe van het pilootsignaalsysteem.

Synchronisatie is echter ook hier vereist. Deze wordt verkregen met behulp van een te zamen met het zendersignaal overgebracht signaal, dat voor het menselijk gehoor niet waarneembaar is. Men noemt dit het pilootsignaal. Vandaar ook de naam „pilootsignaalsysteem". Het schema in fig. 3.1 geeft hiervan het principe. Dit systeem van in de tijd afwisselend plaatsvindende overdracht wordt ook wel tijdmultiplex-systeem genoemd. Het in het voorafgaande omschreven stereosignaal moet nog met het pilootsignaal worden aangevuld. Het hierna verkregen signaal wordt „stereomultiplex-signaal" genoemd. Deze aanvulling betekent ook dat de beide schakelaars, die in het schema van fig. 3.1 nog mechanisch gekoppeld waren gedacht, bij de verdere ontwikkeling van het principe van de schakeling moeten worden vervangen door elektronische schakelaars. In het systeem moet daarbij een voorziening voor de synchronisatie van deze schakelaars worden opgenomen. In fig. 3.2 is dit uitgebreide principe weergegeven.

Afgezien nu van de uit te zenden stereo-informaties, kan men aan de zenderzijde de generator voor de pilootfrequentie van 19 kHz als uitgangspunt beschouwen. Het door deze generator afgegeven signaal wordt ten eerste in een optelschakeling aan het stereosignaal toegevoegd en dient in de tweede plaats na verdubbeling tot 38 kHz voor het sturen van de elektronische schakelaar. Op overeenkomstige wijze wordt in de ontvanger de pilootfrequentie van 19 kHz uit het signaal gezeefd en verdubbeld om ook weer een elektronische schakelaar te sturen.

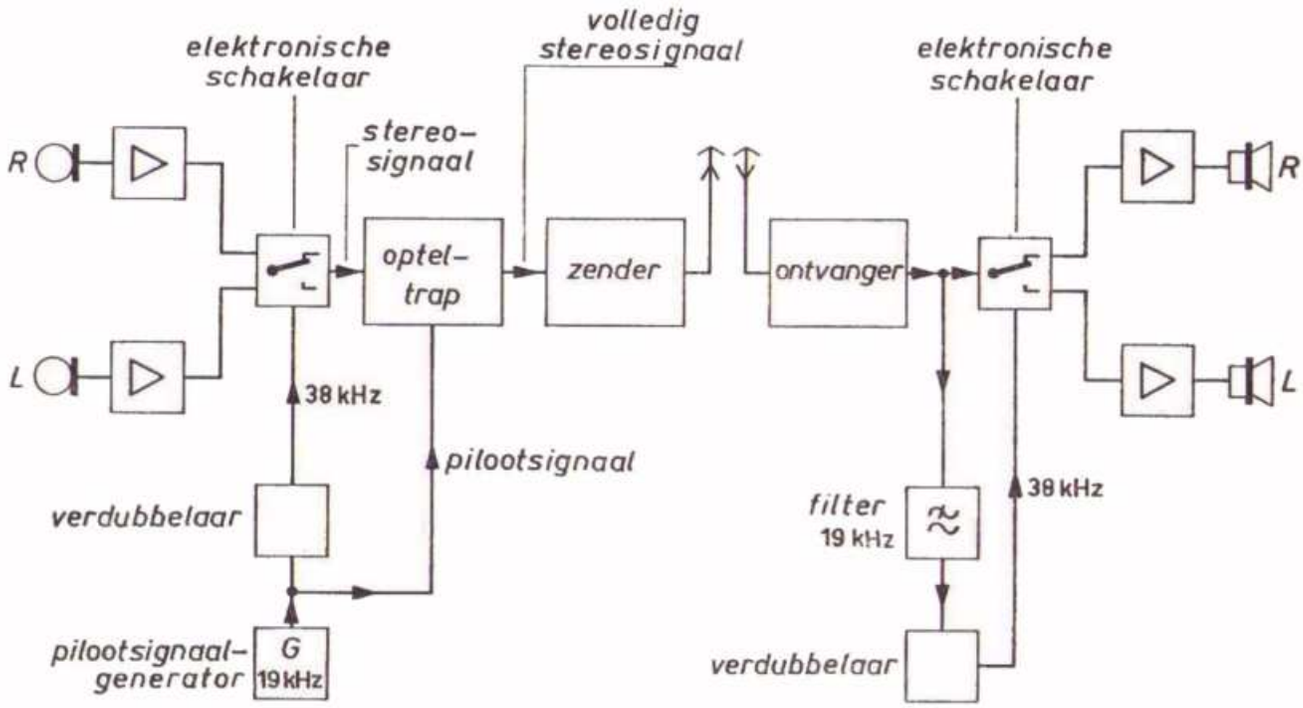


Fig. 3.2. Uitgebreid principeschema van het pilootsignaalsysteem.

Tot zover klinkt alles zeer eenvoudig. De technische zijde van de HF-stereofonie is, wat de schakelingen betreft, natuurlijk lang niet zo eenvoudig. Het is daarom ook onvermijdelijk om na deze eerste elementaire beschouwingen over te gaan op een diepgaander bespreking van het pilootsignaalsysteem.

3.2.1 Het principe

Het pilootsignaalsysteem voor radiostereofonie dat in Europa wordt toegepast, komt vrijwel overeen met het systeem dat door de Amerikaanse FCC als standaardsysteem is aangenomen. In het navolgende worden een

aantal punten genoemd, die door de fig. 3.3 a-f worden geïllustreerd [39].

De som van de *L*- en *R*-informatie van het LF-stereosignaal vormt het modulatiesignaal van het hoofdkanaal (zie par. 3.2.2).

De hoofddraaggolf wordt ongeveer 8 . . . 10% gemoduleerd met een pilootfrequentie van 19 kHz $\pm$ 2 Hz.

De tweede harmonische van de pilootfrequentie vormt een hulpdraaggolf, welke op ieder tijdstip waarop de pilootgolf de tijdas snijdt, eveneens de tijdas snijdt en wel met een positieve helling.

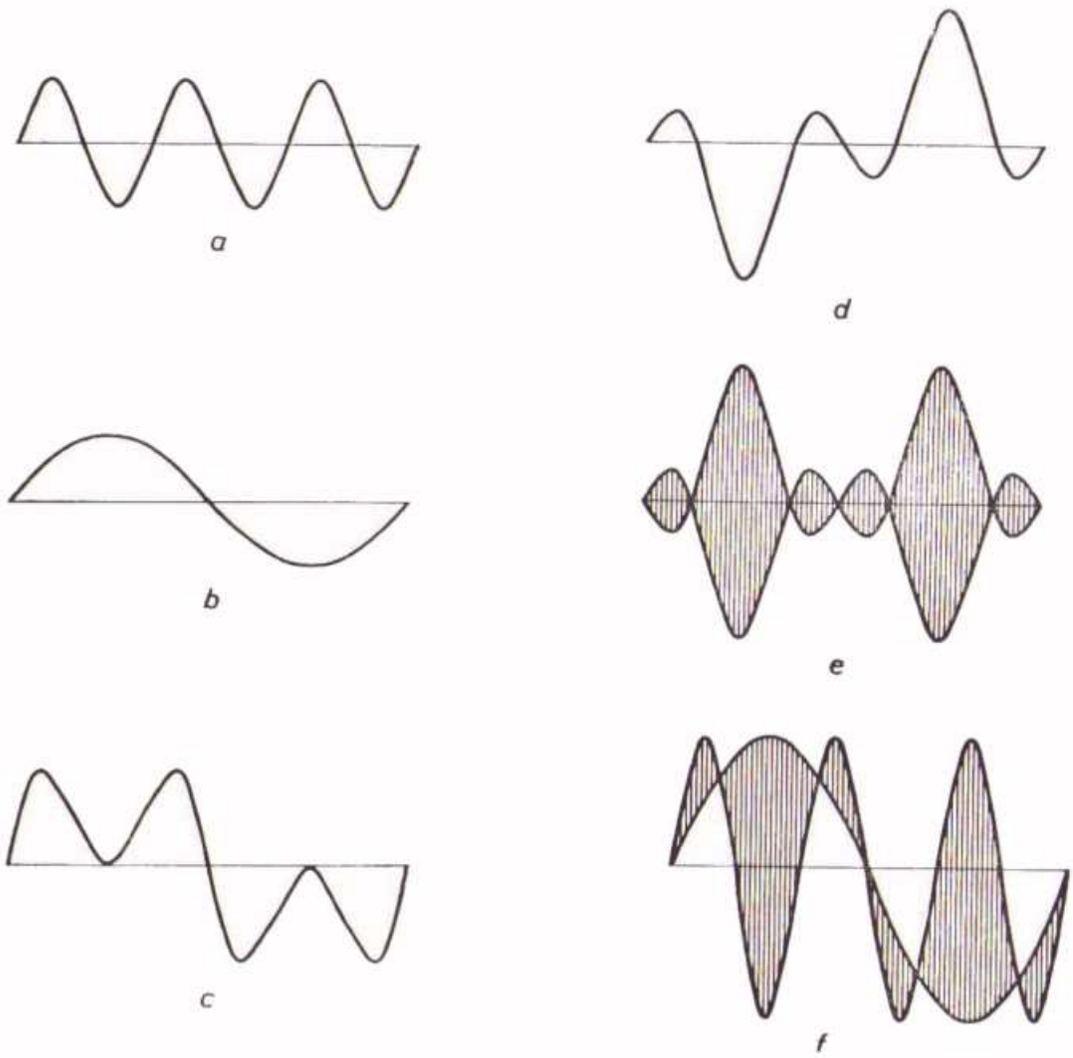


Fig. 3.3. Diverse krommen bij het pilootsignaalsysteem.

De hulpdraaggolf is in amplitude gemoduleerd; zij wordt door de frequentiezwaai van de hoofddraaggolf tot op minder dan 1% onderdrukt. Deze onderdrukking heeft echter geen betrekking op de zijbanden.

Het verschil tussen de *L*- en de *R*-informatie van het LF-stereosignaal vormt het modulatiesignaal van de hulpdraaggolf met een bandbreedte

van 30 Hz . . . 15 kHz en een pre-emfase van 50 μs (in Canada en de VS is dit 75 μs). Bij monofoon uitzenden heeft het modulatiesignaal van het hoofdkanaal (som van de *L*- en de *R*-informatie) gelijke bandbreedte en pre-emfase.

Beide AM-zijbanden van de hulpdraaggolf kunnen een maximale frequentiezwaai van de hoofddraaggolf van 45% verwekken, wanneer slechts één van de beide informaties (*L* of *R*) aanwezig is. De som- en verschilinformatie te zamen kunnen de hoofddraaggolf dus tot 90% uitsturen. De amplitudekarakteristieken van het hulpkanaal en het hoofdkanaal moeten, met inbegrip van de pre-emfase, tot op ± 0,3 dB met elkaar overeenstemmen. De afwijking van de fasekrommen mag maximaal ± 3° bedragen. Wanneer aan deze voorwaarden wordt voldaan, kan over het gehele gebied van 50 Hz . . . 15 kHz een minimale overspreekdemping worden bereikt van 29,7 dB.

Aan het hulpkanaal worden met betrekking tot de vervormingsfactor dezelfde eisen gesteld als aan het hoofdkanaal, waarbij dit dus ook voor monofone uitzending geldt. Voor het gehele systeem gelden de volgende waarden:

50 Hz . . . 100 Hz: 3,5%
100 Hz . . . 7,5 kHz: 2,5%
7,5 Hz . . . 15 kHz: 3,0%

Volgens het FCC-normalisatievoorschrift is de overdracht van z.g. achtergrondmuziek of een SCA-programma (Subsidiary Communications Authorization) over een tweede hulpkanaal toegestaan. Hierbij gaat het om een extra, van het eigenlijke stereoprogramma volledig onafhankelijk, populair programma voor betalende abonnees, zoals warenhuizen e.a.

In Europa wordt van deze mogelijkheid geen gebruik gemaakt. Het vrijkomende modulatiegebied wordt hier ook voor het stereosignaal benut.

De voor het hulpkanaal (ook wel SCA-kanaal genoemd) bestemde hulpdraaggolf mag de hoofddraaggolf niet met meer dan 10% moduleren. De overspreekdemping moet, bij 100% uitsturen van de hoofddraaggolf, tussen het SCA-kanaal en elk der stereokanalen groter zijn dan 60 dB.

3.2.2 Het stereosignaal

Nadat aldus het principe voldoende is toegelicht, wordt nu het stereosignaal aan een nadere beschouwing onderworpen. In het algemeen nemen de

microfoons voor de *L*- en de *R*-informatie verschillende geluidssterkten (amplitudeverschillen) op (zie par. 4.1). Wij nemen nu verder aan, dat er slechts één geluidsbron aanwezig is, die zich bovendien níet in het akoestische midden tussen de beide microfoons bevindt en een toon uitzendt met een frequentie van 4,22 kHz. Hierbij ontstaan in de microfoons twee in fase gelijke spanningen met verschillende amplitudes, aangezien de geluidsbron zich immers niet in het akoestisch midden tussen de microfoons bevindt (zie fig. 3.4). Laten wij verder aannemen dat in dit voorbeeld de *L*-amplitude de grootste is. Wordt er nu voortdurend tussen de *L*- en *R*-informaties in het ritme van 38 kHz omgeschakeld, dan ontstaat een resulterende spanning

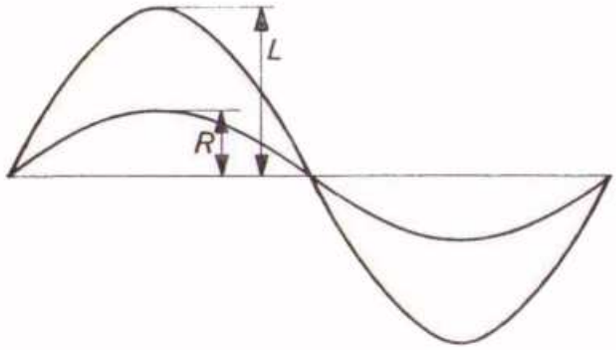


Fig. 3.4. Twee in fase zijnde spanningen van verschillende amplitude.

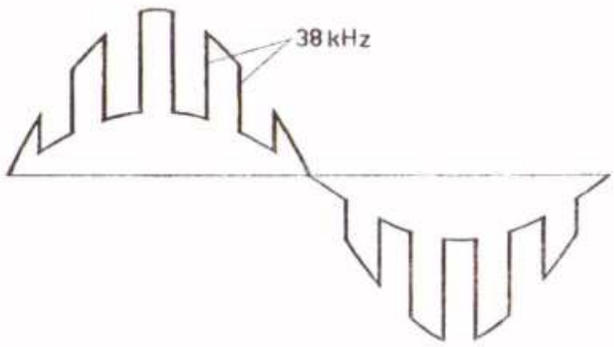


Fig. 3.5. Omschakeling tussen *L*- en *R*-informatie in het ritme van 38 kHz.

met een grafisch verloop als in fig. 3.5 is weergegeven. Ondanks de gecompliceerdheid (het a.h.w. in elkaar grijpen van de beide signaalspanningen), kan men de beide informaties nog duidelijk onderscheiden. Men ziet dat tijdens één periode van de toon van 4,22 kHz negen maal is omgeschakeld ($4{,}22 \times 9 = 38$!).

Dit stereosignaal bestaat uit signalen van gelijke frequentie maar met verschillende amplitudes, tussen welke signalen met een ritme van 38 kHz wordt omgeschakeld. De stereozender moet natuurlijk ook nog andere

frequenties uitzenden. Reeds door het omschakelprocédé met de frequentie van 38 kHz wordt het spectrum belangrijk vergroot. In de volgende paragrafen zal worden uiteengezet welke frequenties in het stereosignaal zijn terug te vinden.

3.2.3 Het som- en verschilsignaal

Wanneer fragmenten van de *L*- en *R*-signalen afwisselend worden overgebracht, zijn niet meer alleen de frequenties van deze signalen aanwezig. In het navolgende zal worden uiteengezet welke grootheden verder uit het stereosignaal kunnen worden afgeleid.

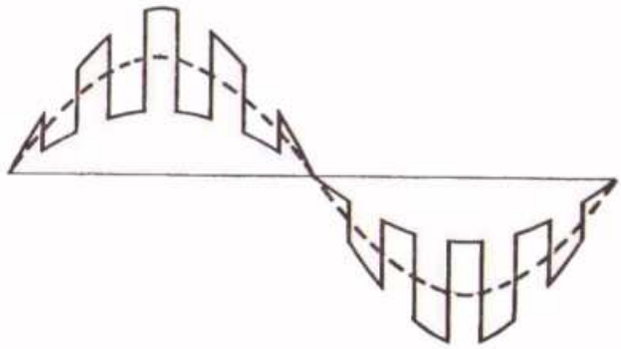


Fig. 3.6. Kanteelsignaal van 38 kHz uit fig. 3.5 met de bijbehorende (gestippelde) middenlijn.

Reeds in fig. 3.5 kon men zien hoe het door de zender uit te zenden stereosignaal door omschakeling in het ritme van 38 kHz tussen het *L*- en het *R*-signaal tot stand komt. Bij deze continue omschakeling ontstaat een soort rechthoekig signaal met de frequentie 38 kHz, dat, zoals fig. 3.6 laat zien, om een middellijn, welke als een stippellijn is weergegeven, heen en weer zwaait. Bij nadere bestudering herkent men nu ook de samenstelling van het stereosignaal. Ter ondersteuning van deze beschouwingen stelle men zich twee in serie geschakelde generatoren G_1 en G_2 voor, zoals in fig. 3.7 aanschouwelijk is voorgesteld. De generator G_1 levert de spanning van 38 kHz met een bijzondere vorm van de kromme (zie par. 3.3.1). De generator G_2 levert een wisselspanning, die verloopt volgens de gestippelde kromme in fig. 3.7. De optelling van de beide spanningen levert weer het reeds uit fig. 3.6 bekende stereosignaal op. Dit in gedachten uitgevoerde experiment, dat zich overigens gemakkelijk met behulp van twee generatoren oscillografisch laat aantonen, bewijst duidelijk dat het somsignaal van de beide generatoren het stereosignaal oplevert. Dat betekent enerzijds, dat

men door optelling van momentele waarden van de generatorsignalen het stereosignaal kan verkrijgen. Anderzijds betekent het echter ook, dat het stereosignaal de beide aangenomen generatorsignalen bevat. Deze kunnen dus uit het stereosignaal met daarvoor geschikte hulpmiddelen a.h.w. worden gedestilleerd.

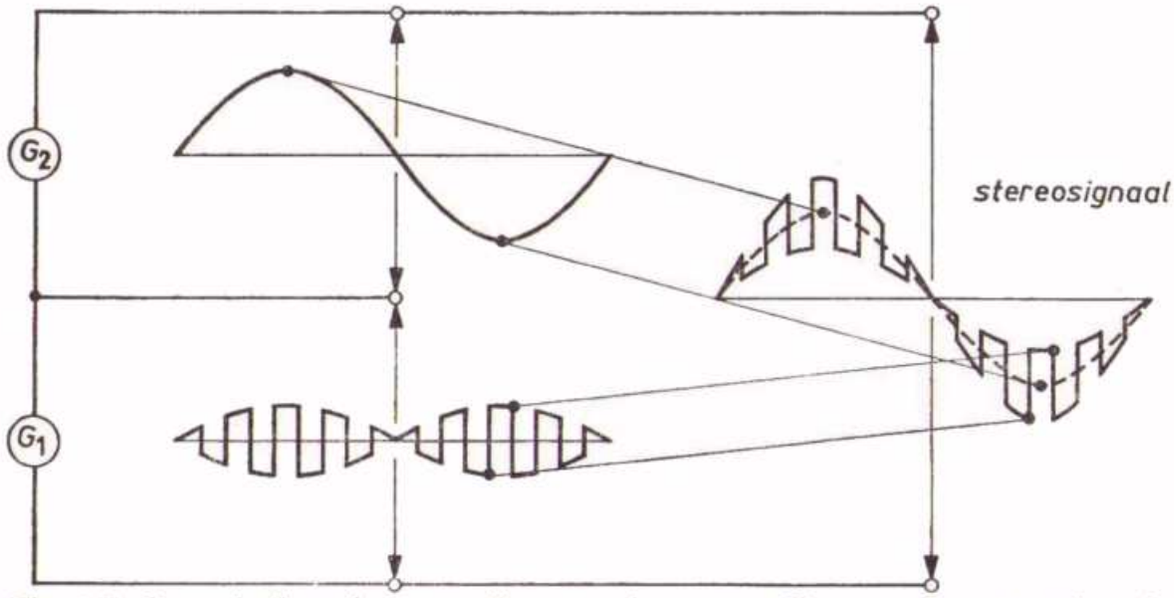


Fig. 3.7. Gesymboliseerde voorstelling van de samenstelling van het stereosignaal.

Ook kan men zich de gestippelde kromme in de figuren 3.6 en 3.7 (men denke maar eens aan een versterker met een gebrekkige afvlakking van de gelijkspanning) gemakkelijk voorstellen als een spanning, die met het rechthoekige signaal als „brom" vermengd is. Bij het oscillografisch onderzoek van een dergelijke versterker ziet men dat het nuttige signaal is gesuperponeerd op de „bromspanning". Bij deze beschouwingswijze komt het nuttige signaal overeen met de door de generator G_1 geleverde spanning van 38 kHz, terwijl de „bromspanning" dan geïdentificeerd wordt door de wisselspanning uit de generator G_2.

Fig. 3.8 toont nogmaals het stereosignaal met zijn beide componenten, echter nog steeds zonder de toe te voegen pilootfrequentie. De buitenste omtrek van de door omschakeling verkregen, rechthoekig verlopende, spanning van 38 kHz vormt het *L*-signaal. De aan de binnenzijde gelegen omtrek ontstaat uit het in amplitude kleinere *R*-signaal. De nullijn van de spanning van 38 kHz wordt voorgesteld door de gestippelde kromme (fig. 3.8a). De beide spanningen waaruit het stereosignaal is samengesteld, zijn in fig. 3.8b en c weergegeven [41].

Het in fig. 3.8c weergegeven somsignaal ($L + R$) is geschikt voor mono-ontvangers. Men noemt het daarom ook wel monosignaal.

Het verschilsignaal ($L - R$) is een maatstaf voor het amplitudeverschil tussen L en R. Bij een akoestisch middensignaal ($L = R$) is de amplitude in fig. 3.8b gelijk aan nul. Er ontstaat dan bij het omschakelen tussen L en R geen sprong. De spanning van 38 kHz ontstaat dientengevolge alleen,

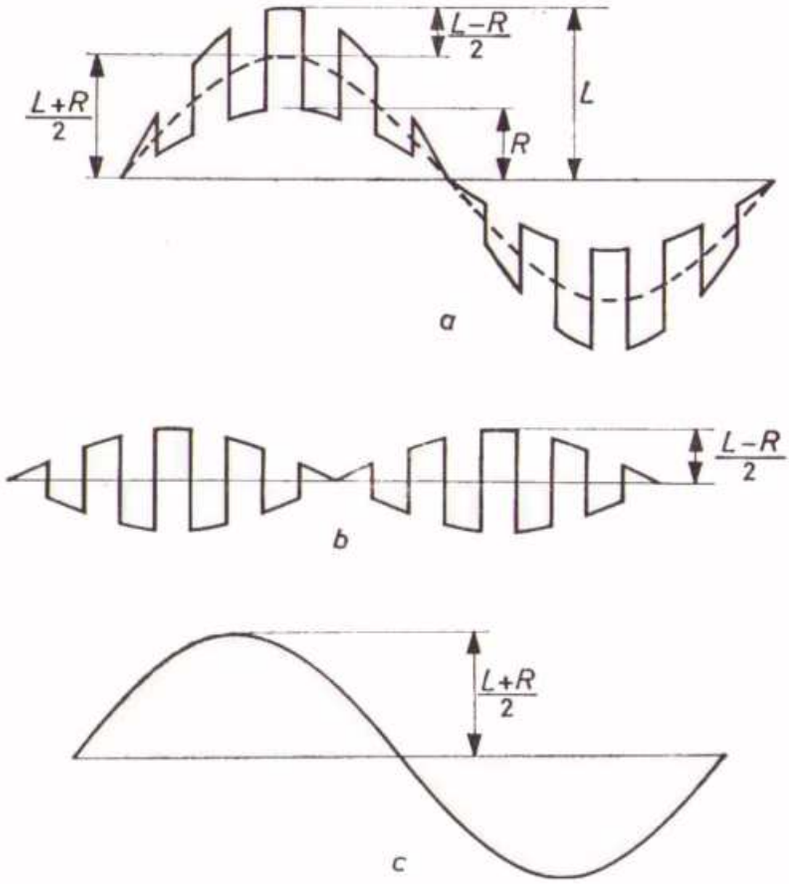


Fig. 3.8. a. Stereosignaal. b. Verschilsignaal. c. Somsignaal.

wanneer een amplitudeverschil tussen L en R aanwezig is. Hoe groter het verschil $L - R$ is, resp. hoe groter de afwijking van het akoestisch midden is, des te groter wordt de maximale amplitude van de 38- kHz- spanning. De maximale amplitude volgt uit $(L - R)/2$. De 2 is alleen ingevoerd vanwege de absolute, in getalwaarde uitgedrukte, grootte. Men spreekt hier algemeen van het verschilsignaal of ook wel van het ($L - R$)-signaal. Samenvattend kan worden vastgesteld, dat, behalve bij het akoestisch middensignaal ($L = R$), in het stereosignaal het verschilsignaal ($L - R$) aanwezig is, dat

de richtingsinformatie bevat. Daarentegen ontstaat altijd het somsignaal ($L + R$) en wel onafhankelijk van de richting waaruit het geluid wordt opgevangen. Het vormt tevens de mono-informatie, die door mono-ontvangers wordt opgevangen en in geluid omgezet. Daarom wordt het ook wel monosignaal genoemd.

3.2.4 Het frequentiespectrum van het stereosignaal

In fig. 3.9 is het frequentiespectrum van het stereosignaal weergegeven, echter zonder dat hierin de amplitudes der afzonderlijke frequenties tot uiting komen. Het hoofdkanaal brengt de som van de L- en R-informaties van het LF-stereosignaal over. Dit kanaal omvat het bij FM-radio normale LF-frequentiegebied. Hierdoor wordt dus de reeds eerder genoemde mogelijkheid verkregen om een stereo-uitzending met mono-ontvangers op te vangen en als een gewone mono-uitzending weer te geven.

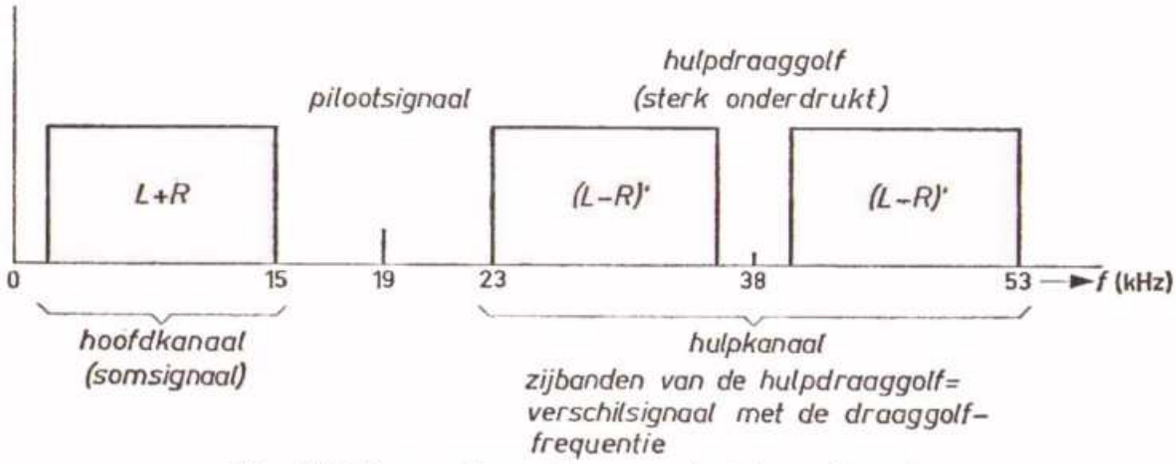


Fig. 3.9. Frequentiespectrum van het stereosignaal.

Alle overige informaties die nog in dit spectrum aanwezig zijn, hebben uitsluitend een functie ten behoeve van de stereo-ontvangst. Een hulpdraaggolf van 38 kHz is in amplitude gemoduleerd met het verschil tussen de L- en de R-informatie van het LF-stereosignaal. Een volledige overdracht van de hulpdraaggolf komt in verband met een zo gunstig mogelijk benutten van de modulatiezwaai bij de zender, niet in aanmerking. Aangezien een sterk gereduceerde hulpdraaggolf echter in de ontvanger, wegens de in de onmiddellijke nabijheid aanwezige signaalfrequenties, slechts met behulp van vrij kostbare extra voorzieningen zou kunnen worden terugverkregen,

wordt de hulpdraaggolf vrijwel geheel onderdrukt. In plaats van deze hulpdraaggolf wordt het pilootsignaal van 19 kHz overgebracht, opdat het hulpkanaal in de ontvanger weer kan worden gedemoduleerd. Het pilootsignaal ligt in een betrekkelijk vrij gebied.

De faseverhouding tussen de hulpdraaggolf en het pilootsignaal is weergegeven in fig. 3.10 [42]. Deze is zodanig bepaald dat iedere tweede nuldoorgang van de hulpdraaggolf samenvalt met een nuldoorgang van het pilootsignaal. Dit geschiedt verder zodanig, dat de tijdas bij de gemeenschappelijke nuldoorgang door de draaggolf in positieve richting wordt gesneden. Dit moet bij voorbaat worden vastgelegd om de *L*- en *R*-informaties bij de overdracht duidelijk te kenmerken.

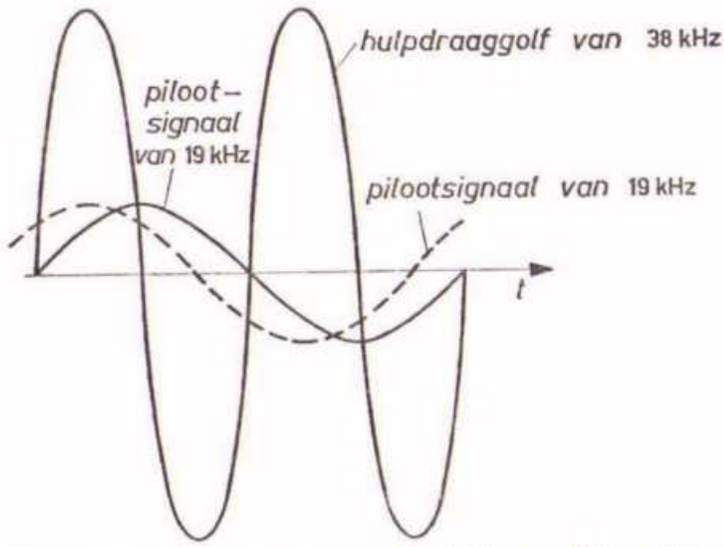


Fig. 3.10. Faseverhoudingen tussen hulpdraaggolf en pilootsignaal.

In de grafiek van fig. 3.11 is in vergelijking met figuur 3.9 de uitsturing van de zender mede opgenomen. De zender wordt door het pilootsignaal tot 10% gemoduleerd. De overblijvende 90% van de totale frequentiezwaai staan ter beschikking voor de overdracht van het hoofd- en het hulpkanaal.

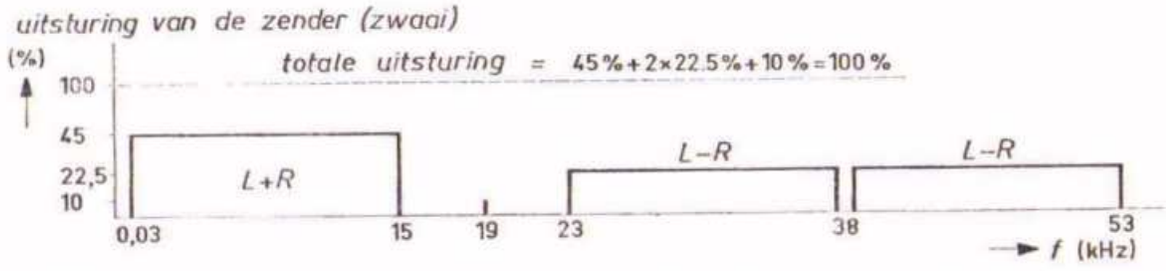


Fig. 3.11. Frequentiespectrum van het stereosignaal, waarin mede is opgenomen de uitsturing van de zender.

Dit gebied kan door het maximale somsignaal (zie par. 3.2.3) volledig worden uitgestuurd, daar het verschilsignaal geen extra zwaai vereist, maar alleen deze ruimte nodig heeft naarmate de zwaai van het somsignaal kleiner wordt.

De 90% van de totale frequentiezwaai is verdeeld in tweemaal 45% voor de beide maximale *L*- en *R*-informaties. De signaal/ruis-verhouding ligt bij de ontvangst van het (compatibele) somsignaal van een stereozender met behulp van een mono-ontvanger slechts 1 dB lager dan bij een traditionele mono-uitzending.

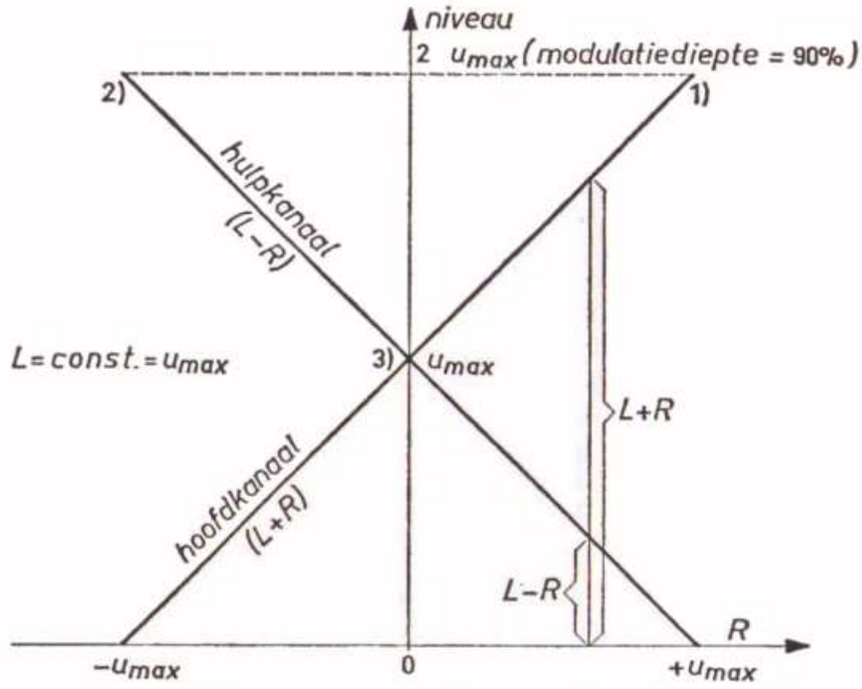


Fig. 3.12. Het elkaar wederzijds aanvullen van het som- en het verschilsignaal tot het beschikbare modulatiegebied.

De wijze waarop het som- en het verschilsignaal elkaar wederzijds aanvullen bij de modulatie van het beschikbare gebied, is in fig. 3.12 aanschouwelijk voorgesteld. Gaat men er nu van uit dat het *L*-signaal op zijn maximaal niveau u_{max} wordt vastgehouden en het *R*-signaal daarbij tussen de waarden $-u_{max}$ en $+u_{max}$ verandert, dan beweegt het niveau van het somsignaal zich tussen de waarden 0 en 2 u_{max} en het niveau van het verschilsignaal zich tussen 2 u_{max} en 0. De beide niveaus vullen elkaar steeds aan tot het maximale niveau 2 u_{max}. Dit komt overeen met 90% uitsturen van de zender. De in fig. 3.12 in het bijzonder naar voren gebrachte situaties zijn de volgende:

1. $R = L = u_{max}$; de zender wordt door het hoofdkanaal 90% en door het hulpkanaal in het geheel niet gemoduleerd.
2. $R = -L = -u_{max}$; de zender wordt door het hulpkanaal 90% en door het hoofdkanaal in het geheel niet gemoduleerd.
3. $R = 0$, $L = u_{max}$; de zender wordt zowel door het hoofdkanaal als door het hulpkanaal 45% gemoduleerd.

De in deze paragraaf naar voren gebrachte beschouwingen gelden niet alleen voor amplitudes van in frequentie en fase gelijke, sinusvormige, spanningen in de kanalen L en R, maar in het algemeen voor momentele waarden van willekeurige, verschillende L- en R-signalen. Ook betekent dit, dat de modulatiezwaai niet meer dan 90% kan bedragen, voor zover de momentele waarden van de L- en R-informaties niet meer bedragen dan u_{max}.

3.2.5 Compatibiliteit

Wanneer in het voorafgaande hier en daar de uitdrukking „compatibel" voorkwam, kon deze meestal worden geïnterpreteerd met het begrip „verdraagzaam". Wij willen op deze plaats enige regels aan het begrip „compatibel" wijden. In het kader van onze beschouwingen is met „compatibel" steeds bedoeld, dat een traditionele mono-ontvanger ook stereo-uitzendingen kan verwerken. Natuurlijk kan het apparaat door zijn constructie deze uitzendingen nu eenmaal slechts monofoon weergeven. Maar dit heeft ook juist in de bedoeling gelegen. Het zal de lezer nu, na alles wat in het voorafgaande over het stereosignaal is gezegd, niet moeilijk vallen zelf een antwoord te geven op de vraag betreffende de compatibiliteit van het pilootsignaalsysteem.

Bedenkt men dat traditionele mono-ontvangers een gebied van maximaal ongeveer 15 kHz kunnen weergeven en dat hogere frequenties, bijv. met behulp van de-emfase-netwerken, met opzet worden gedempt, dan wordt, wanneer wij fig. 3.9 of 3.11 nog eens beschouwen, duidelijk dat praktisch alleen het som- of monosignaal wordt verwerkt. Van het frequentiespectrum van het volledige stereosignaal wordt alleen het somsignaal doorgelaten, terwijl het pilootsignaal en het verschilsignaal verloren gaan. Hierdoor is het pilootsignaalsysteem compatibel; de L- en R-informaties worden in de mono-ontvanger gemeenschappelijk omgezet en weergegeven.

Deze compatibiliteit is nu eenmaal een absolute vereiste omdat zonder

twijfel ook in de toekomst een groot aantal luisteraars niet in de stereofonie geïnteresseerd zal zijn (zie par. 1.3). Ook heeft het ombouwen van oudere mono-ontvangers in vele gevallen in het algemeen weinig zin, als bijv. de kosten hiervan in geen enkele redelijke verhouding staan tot het bereikte resultaat. Daarbij moet men namelijk bedenken, dat het pilootsignaalsysteem eerst in april 1961 door de FCC tot standaardsysteem werd verklaard (zie par. 3.2). Dientengevolge konden de ontwerpers van de apparaten zich op zijn vroegst na 1961 op de speciale problematiek van dit standaardsysteem, waarvan de invoering in Europa onvermijdelijk te wachten stond, instellen. Op grond hiervan konden ook eerst te beginnen met het ontwerpseizoen 1962/63 op het gebied van de ontvangers concrete voorbereidingen worden getroffen met betrekking tot aanvullende apparatuur voor stereo-ontvangst, al waren ook op dit tijdstip de bedenkingen nog niet geheel uit de weg geruimd van degenen die zich afvroegen of het systeem, dat in Amerika onder gedeeltelijk afwijkende omstandigheden was toegelaten, ook onbeperkt in Europa kon worden toegepast.

Er zullen zodoende nog lange tijd mono-ontvangers zijn, waarvan de ombouw op stereo-ontvangst waarschijnlijk beter kan worden afgeraden. Dit kan zelfs gelden voor apparaten, die uitstekende prestaties leveren op het gebied van de LF-stereofonie, maar niettemin voor HF-stereofonie ongeschikt zijn. Daarbij worden nog lang niet alle radioprogramma's stereofonisch uitgezonden. Men begrijpt uit deze beschouwingen nu ook waarom de vraag betreffende de compatibiliteit bij de invoering van het pilootsignaalsysteem van doorslaggevende betekenis was.

3.3 Toelichtingen

Ter verdieping van het inzicht in het pilootsignaalsysteem, dat in par. 3.2 is behandeld, volgen in deze paragraaf nog enige toelichtingen met betrekking tot amplitudemodulatie (par. 3.3.1), modulatieschakelingen (3.3.2) en amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf (par. 3.3.3). Deze onderwerpen kunnen eventueel bij de eerste bestudering van het boek worden overgeslagen, maar de lezer zal zeker op een bepaald moment ook deze punten ter kennis moeten nemen.

3.3.1 Amplitudemodulatie

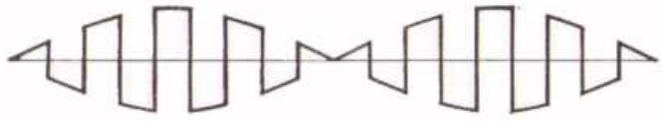
Zoals men zich uit par. 3.2.3 zal herinneren, bevat het stereosignaal (wanneer men afziet van het pilootsignaal) het somsignaal, dat alleen de LF-

informatie bevat en het verschilsignaal, met de spanning van 38 kHz en de maximale amplitude $(L—R)/2$, dat de richtingsinformatie levert. Wij zullen nu de spanning van het verschilsignaal hier nader onder de loep nemen. Bij beschouwing van fig. 3.13 kunnen wij de volgende kenmerken noteren.

1. De kromme verloopt niet sinusvormig.
2. De amplitude is niet constant.
3. Op de plaats waar de tijdas gepasseerd wordt, vindt geen normale nuldoorgang plaats. Veeleer ontstaat hier een fasedraaiing van 180°, een fasesprong.

Als men fig. 3.13 wat langer bestudeert, zal men een bepaalde overeenkomst met een in amplitude gemoduleerde trilling niet kunnen ontkennen. We hebben hier dan wel te doen met een bijzonder geval van amplitudemodulatie, namelijk de amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf.

Fig. 3.13. Verschilsignaal.



Om de lezer dit duidelijker te maken, volgen hier in het kort de belangrijkste punten van de amplitudemodulatie. Men spreekt van amplitudemodulatie (afgekort weergegeven met AM), wanneer een hoogfrequente spanning ten aanzien van haar amplitude door een trilling van een lagere frequentie, min of meer in overeenstemming met het ritme en de sterkte van deze trilling, wordt beïnvloed.

Met behulp van deze techniek is het, zoals bekend, mogelijk om een laagfrequente informatie, welke is toegevoegd aan een hoogfrequente draaggolf, met behulp van een zendinstallatie uit te zenden. Wanneer een dergelijk signaal wordt opgevangen en vervolgens gedemoduleerd, verkrijgt men weer de laagfrequente informatie. In het navolgende zal een voorbeeld worden gegeven van amplitudemodulatie van de netfrequentie van 50 Hz als draaggolf (HF) met een frequentie van 1,5 Hz (LF). Alvorens echter hiertoe over te gaan moeten nog enige begrippen aan de hand van de in fig. 3.14 gegeven voorstelling van een sinusvormig gemoduleerde draaggolf, worden toegelicht.

1. Een gemoduleerde draaggolf (AM) is een hoogfrequente spanning, waarvan de piekwaarden overeenkomstig het ritme en de grootte van een laagfrequente trilling veranderen.
2. De amplitudes van een gemoduleerde draaggolf veranderen voortdurend hun piekwaarden. De gemiddelde waarde van deze piekwaarden in positieve zowel als in negatieve richting is de amplitude u_D van de draaggolf, die in fig. 3.14 als een rechte stippellijn is getekend. Deze constante draaggolfamplitude is de amplitude van de ongemoduleerde draaggolf van de zender, die door de modulatie (LF) vergroot resp. verkleind wordt. Daaruit volgt, dat de draaggolfamplitude u_D in fig. 3.14 steeds uit de imaginaire nullijn kan worden afgeleid, om welke de modulatie (LF) slingert.

   Dan geldt ook, dat de amplitude u_D van de draaggolf met de gelijkstroomcomponent van de modulatie wordt veranderd, voorzover er een dergelijke component in aanwezig is.

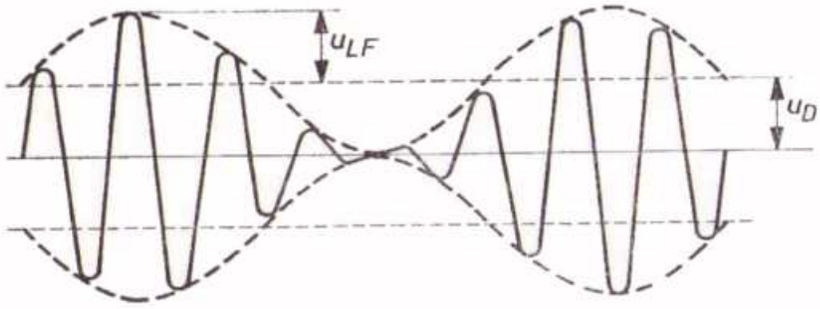


Fig. 3.14. Amplitudemodulatie van een draaggolf van 50 Hz met een frequentie van 1,5 Hz.

3. De omhullende van de draaggolf, die is voorgesteld als een golvende stippellijn, is de LF-frequentie die op de HF-draaggolf is gemoduleerd. Voor de LF-amplitude wordt altijd de afstand gemeten vanaf de draaggolfamplitude u_D, daar deze de nullijn vormt voor de modulatie (LF).
4. De gemoduleerde draaggolf neemt, bij 100% modulatie, in amplitude tot 0 af.
5. De verhouding tussen de LF-amplitude u_{LF} en de draaggolfamplitude u_D wordt de modulatiefactor genoemd. Hiervoor geldt de volgende formule:

$$m = \frac{u_{LF}}{u_D}$$

In de grafiek van fig. 3.14 zijn beide amplitudes (u_{LF} en u_D) even groot. Hierdoor is $m = 1$, of uitgedrukt in een percentage: $m = 100\%$.

Op dezelfde wijze zoals andere trillingen die geen zuivere sinusvorm hebben, harmonischen bevatten, is natuurlijk ook een draaggolf die door modulatie niet langer sinusvormig is, samengesteld uit sinusvormige trillingen van verschillende frequenties. Nu is niet meer alleen de frequentie van de draaggolf aanwezig. Het is aan de hand van een eenvoudig experiment mogelijk om de nog in het spectrum van de in amplitude gemoduleerde draaggolf aanwezige trillingen van andere frequenties aan te tonen. Dit experiment gaat als volgt in zijn werk: De netfrequentie van 50 Hz kan op eenvoudige wijze in amplitude worden gemoduleerd. Dit kan geschieden door middel van periodiek in- en uitschakelen. Een schakeling welke hiertoe kan dienen, is in fig. 3.15 weergegeven. Een tongenfrequentiemeter, waarvan het meetbereik van 45 . . . 55 Hz in trappen van 0,5 Hz is verdeeld, is via een relaiscontact aangesloten op een spanning met een frequentie van 50 Hz. Het bijbehorende relais wordt door middel van een impulsklok,

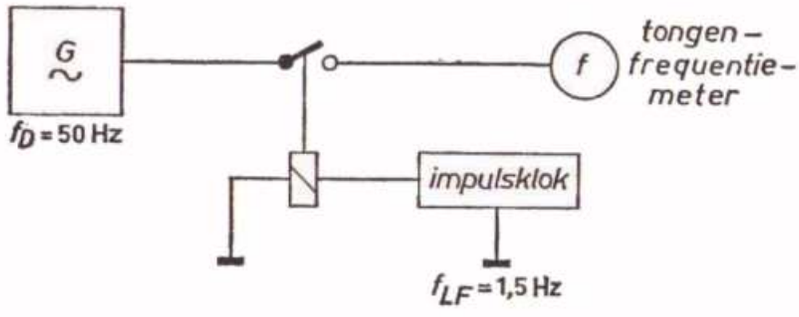


Fig. 3.15. Schakeling voor amplitudemodulatie van een draaggolf van 50 Hz met een frequentie van 1,5 Hz.

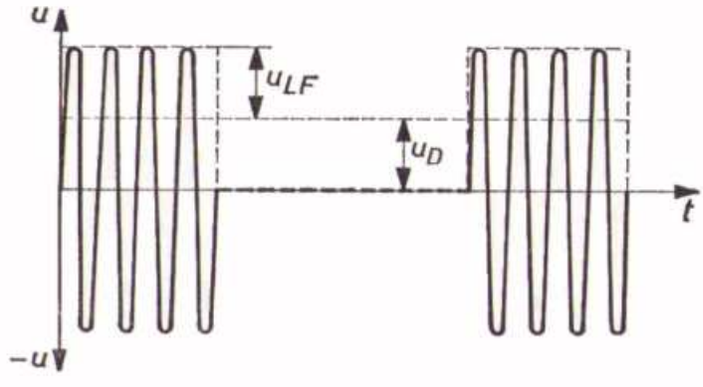


Fig. 3.16. Het verloop van de spanning aan de tongenfrequentiemeter in fig. 3.15.

bijv. een contactinrichting voor de richtingaanwijzer van een auto, met een frequentie van 1,5 Hz gestuurd. In dit geval is dus de draaggolffrequentie $f_D = 50$ Hz (de netfrequentie) en de modulerende frequentie $f_{LF} = 1{,}5$ Hz (de frequentie van de impulsklok). Het signaal dat aan de tongenfrequentiemeter wordt toegevoerd, is in de grafiek van fig. 3.16 weergegeven. Fig. 3.17 toont welke tongen van de frequentiemeter in trilling worden gebracht.

Men zou aanvankelijk kunnen denken dat alleen de tong voor 50 Hz in trilling geraakt. Waarom zou ook een frequentiemeter, die periodiek op 50 Hz is aangesloten, iets anders dan deze frequentie aanwijzen? Dit zou men zich inderdaad kunnen afvragen. Fig. 3.17 laat echter iets geheel anders zien. Weliswaar is de uitslag van de tong niet zo groot als bij continue aansluiting op de spanningsbron van 50 Hz, maar in ons geval is de spanning ook niet steeds aangesloten. De 50 Hz-tong stelt zich hierbij op de gemiddelde amplitude van de spanning van 50 Hz in; dit is de draaggolfamplitude u_D.

Fig. 3.17. Aanwijzing van de tongenfrequentiemeter in fig. 3.15.

Hiermee is reeds de aanwezigheid van één der componenten van de draaggolf alsmede de grootte van deze component vastgesteld, namelijk de draaggolffrequentie $f_D = 50$ Hz met de draaggolfamplitude u_D. Zoals wij echter verder zien, trillen ook de bij de frequenties 48,5 en 51,5 Hz behorende tongen van de frequentiemeter. Iedere tong van de meter is op een bepaalde frequentie afgestemd, die op de schaalverdeling is vermeld. Dit is haar resonantiefrequentie. Door hun resonantie-eigenschappen kunnen wij dus met behulp van deze tongen de in de trilling van 50 Hz aanwezige componenten zichtbaar maken. De beide, door de modulatie ontstane, zijbandfrequenties 48,5 en 51,5 Hz volgen uit $f_D - f_{LF}$ en $f_D + f_{LF}$. In ons voorbeeld geschiedt de modulatie met een rechthoekig signaal met een frequentie $f_{LF} = 1{,}5$ Hz. Daarom trillen de meer naar buiten gelegen tongen (48,5 en 51,5 Hz) op de zijbandfrequenties. Vult men de getallen in, dan verkrijgt men immers:

$$f_D + f_{LF} = 50 + 1{,}5 = 51{,}5 \text{ Hz}$$

en

$$f_D - f_{LF} = 50 - 1{,}5 = 48{,}5 \text{ Hz}$$

Gedurende de tijd dat de spanning van 50 Hz is ingeschakeld, worden de tongen 48,5 en 51,5 Hz bekrachtigd en stellen zij zich in op de gemiddelde waarde van de uitwijking der trilling. Op deze wijze zeven zij a.h.w. de gemoduleerde trilling en ontbinden deze in de beide andere componenten.

Bovendien geven zij via de grootte van hun uitslag een informatie over de amplitude van de in de gemoduleerde trilling van 50 Hz aanwezige zijbandfrequenties. Bij 100% modulatie met een sinusvormig signaal geven de tongen voor de zijbandfrequenties de helft van de uitslag te zien van de tong welke op de draaggolffrequentie reageert.

Natuurlijk is het ook mogelijk de door schakelen of op andere wijze verkregen amplitudemodulatie tot stand te brengen door de draaggolf en zijfrequenties afzonderlijk op te wekken en vervolgens bij elkaar te voegen. Dit wordt echter wegens de omslachtigheid van deze methode in de praktijk niet gedaan.

Samenvattend kan worden vastgesteld dat een met een sinusvormig signaal in amplitude 100% gemoduleerde trilling 3 componenten bevat met de hierna genoemde amplitudes en frequenties.

1. Draaggolf met de amplitude u_D en de frequentie f_D.
2. Een zijbandcomponent met de amplitude $u_Z = u_D/2$ en de frequentie $f_Z = f_D + f_{LF}$.
3. Een zijbandcomponent met de amplitude $u_Z = u_D/2$ en de frequentie $f_Z = f_D - f_{LF}$.

Met behulp van hiertoe geschikte middelen, zoals resonantiecircuits, kunnen in amplitude gemoduleerde trillingen in deze drie componenten worden ontbonden, waaruit ze vervolgens ook weer kunnen worden samengesteld.

Wanneer men tijdens de meting de tongenfrequentiemeter nog iets nauwlettender zou hebben bestudeerd, zou men hebben kunnen waarnemen dat ook de tongen voor 45,5 en 54,5 Hz een zwakke uitslag vertoonden. De oorzaak daarvan ligt hierin, dat de modulatie niet geschiedt met een sinusvormige, maar met een rechthoekige spanning (blok- of kanteelspanning).

Dergelijke rechthoekige trillingsverschijnselen bevatten, zoals bekend, behalve hun grondfrequentie nog oneven harmonischen. Zo heeft de derde harmonische de frequentie $f = 3 \cdot f_{LF} = 3 \cdot 1{,}5 = 4{,}5$ Hz. Ook de vijfde harmonische (7,5 Hz), de zevende harmonische (10,5 Hz) enz. zijn aanwezig. Bij de modulatie van de trilling van 50 Hz met een rechthoekig signaal van de frequentie 1,5 Hz wordt dus niet alleen met 1,5 Hz gemoduleerd. Er ontstaan nog meer zijbandfrequenties, die op de hiervoorgenoemde wijze kunnen worden berekend. Het is duidelijk dat als deze zijbandfrequenties buiten het meetbereik van de meter vallen, deze ze niet meer registreert.

Wanneer men moduleert met signalen, die niet sinusvormig zijn, of wanneer een samenstel van frequenties wordt gebruikt, ontstaat in overeenstemming met de in de modulatie aanwezige frequenties een reeks van zijbandfrequenties. Deze vormen de zijbanden. Bij modulatie met een zuivere wisselspanning, d.w.z. een wisselspanning zonder gelijkspanningscomponent, is de draaggolfamplitude constant. De LF-informatie is dan alleen in de zijbanden aanwezig.

3.3.2 Modulatieschakelingen

Voor het tot stand brengen van amplitudemodulatie bestaat een groot aantal modulatieschakelingen. Deze kunnen echter alle tot twee principes worden herleid, namelijk tot de multiplicatieve menging of tot de additieve menging op een gebogen karakteristiek.

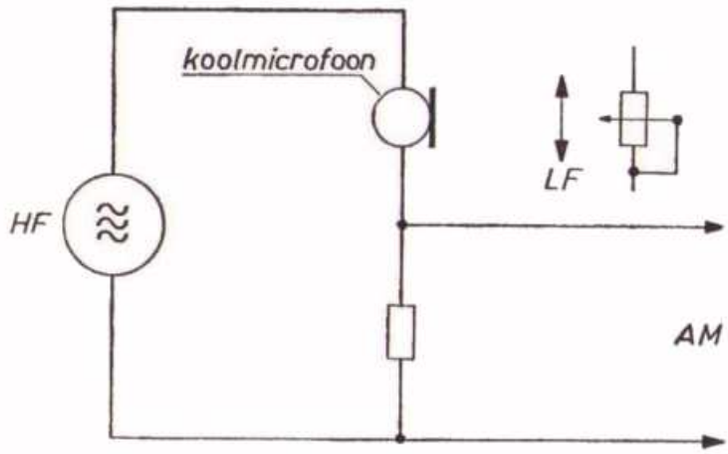


Fig. 3.18. Multiplicatieve menging door middel van een microfoon.

Amplitudemodulatie door multiplicatieve menging wordt verkregen door verandering van de HF-amplitude. Dit is bijv. mogelijk met behulp van periodiek sleutelen (zie de fig. 3.15 en 3.16) of door middel van een microfoon resp. door het sturen van een elektronenbuis (bijv. een heptode) via twee roosters, hetgeen ook een vorm van multiplicatieve menging is. In fig. 3.18 is het schema weergegeven voor multiplicatieve menging door middel van een microfoon, terwijl fig. 3.19 de schakeling te zien geeft voor deze vorm van menging door middel van het sturen van een heptode via twee roosters.

Er is hier inderdaad sprake van een multiplicatieve beïnvloeding, daar bijv. bij optreden van de halve LF-amplitude de modulatie-amplitude

eveneens tot de helft vermindert. De modulatie-amplitude wordt dus lineair met de amplitude van het modulerende LF-signaal veranderd. Bij sinusvormige modulatie is het ontstaan van een zuivere amplitude-modulatie met slechts twee zijbandfrequenties karakteristiek voor de multiplicatieve menging. Deze vorm van amplitudemodulatie mag men niet verwarren met het uitsturen van een gebogen karakteristiek, waarbij steeds zijbandfrequenties van hogere orde naast de twee genoemde ontstaan.

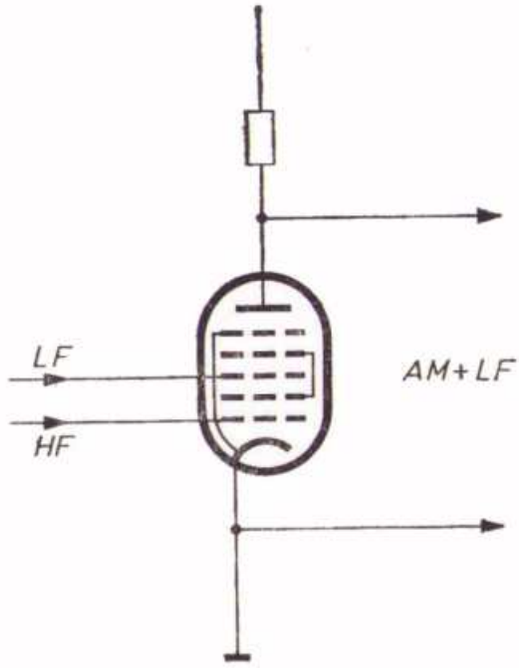


Fig. 3.19. Multiplicatieve menging door middel van het sturen van een heptode via twee roosters.

De ook wel additieve menging genoemde vorm van amplitudemodulatie, welke geschiedt door additieve superpositie op een gebogen karakteristiek, kan bijv. geschieden tussen rooster en katode van een elektronenbuis of zelfs in een diode. In tegenstelling tot de multiplicatieve menging ontstaan hierbij niet slechts twee maar een groot aantal nieuwe zijbandfrequenties, die bestaan uit veelvouden van de modulatiefrequenties. Er ontstaat een hele reeks mengprodukten. De zuivere amplitudemodulatie met slechts twee zijbandfrequenties wordt pas uit deze niet-zuivere amplitudemodulatie verkregen door het uitzeven van de zuivere AM-componenten door middel van een resonantiecircuit van de juiste bandbreedte. Goed beschouwd is ook de additieve menging van een ontvangen draaggolffrequentie met een oscillatorfrequentie tot een middenfrequentie ten slotte een vorm van amplitudemodulatie, waarbij één zijband wordt uitgezeefd. Ter illustratie hiervan dient het in fig. 3.20 afgedrukte gedeelte van het schakelschema van een radio-ontvanger. In dit soort mengschakelingen wordt de additieve

superpositie op een gebogen karakteristiek praktisch toegepast. Hier worden de beide signalen hetzij tussen het rooster en de katode van een elektronenbuis hetzij tussen de basis en de emissor van een transistor (zie fig. 3.20) samengevoegd.

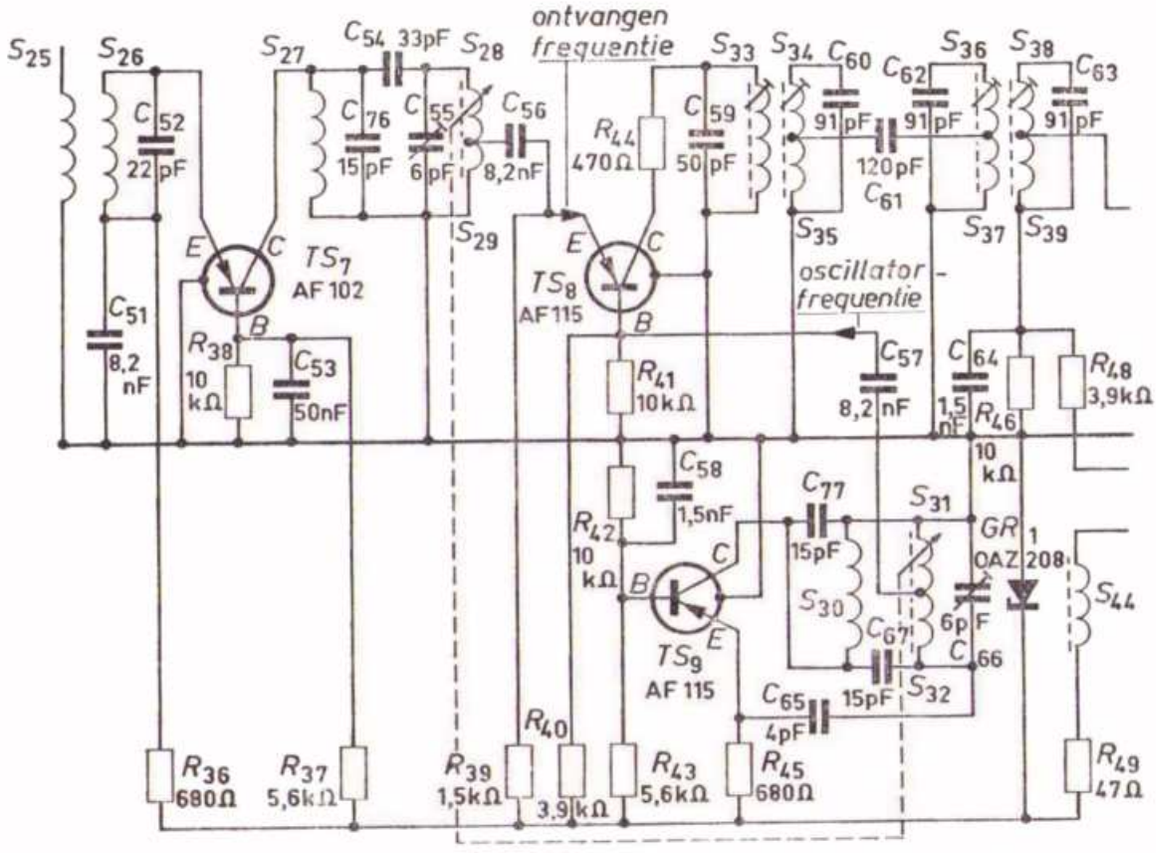


Fig. 3.20. Gedeelte van een schakelschema voor additieve superpositie.

3.3.3 Amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf

Als bij amplitudemodulatie geen gelijkspanningscomponent wordt uitgezonden, dan is de LF-informatie alleen in de zijbandfrequenties aanwezig. De draaggolfamplitude is dan constant. Hieruit volgt, dat de draaggolf voor het overbrengen van de LF-informatie niet wordt gebruikt. Wel is het voor de demodulatie van het signaal noodzakelijk in de ontvanger deze draaggolffrequentie weer aan het ontvangen signaal toe te voegen. De amplitudemodulatie wordt op eenvoudige wijze met behulp van een gelijkrichtende modulator verkregen. De schakeling is in fig. 3.21 weergegeven.

De verbinding tussen de overdragers T_1 en T_2 wordt tot stand gebracht door de in een bepaalde richting geschakelde dioden GR_1 tot en met GR_4.

Wanneer het HF-signaal, dat aan de middenaansluitingen van de beide overdragers wordt toegevoerd, de in de figuur aangeduide polariteit heeft, zijn de dioden GR_1 en GR_2 geleidend. Daardoor zijn de overdragers T_1 en T_2 rechtstreeks met elkaar verbonden, zodat het LF-signaal aan de uitgang van de overdrager T_2 op dat ogenblik aanwezig is. Wanneer nu het HF-signaal tijdens de volgende halve periode de tegengestelde polariteit aanneemt, worden de voordien geleidende dioden GR_1 en GR_2 geblokkeerd. Nu zijn echter de dioden GR_3 en GR_4 geleidend.

De verbinding tussen de beide overdragers T_1 en T_2 wordt nu in zekere zin kruiselings tot stand gebracht. Het gevolg van de zich voortdurend veranderende polariteit van het HF-signaal is, dat aan de uitgang van de overdrager T_2 een LF-signaal ontstaat, dat overeenkomstig het ritme van deze polariteitsomkeringen steeds wordt omgepoold. Het HF-signaal vindt men echter aan de uitgang van de overdrager T_2 niet terug, daar door het toevoeren van dit signaal aan de middenaansluiting van de ingangswikkeling van de overdrager beide wikkelingshelften tegengesteld geschakeld zijn, waardoor aan de secundaire zijde geen HF-spanning wordt geïnduceerd.

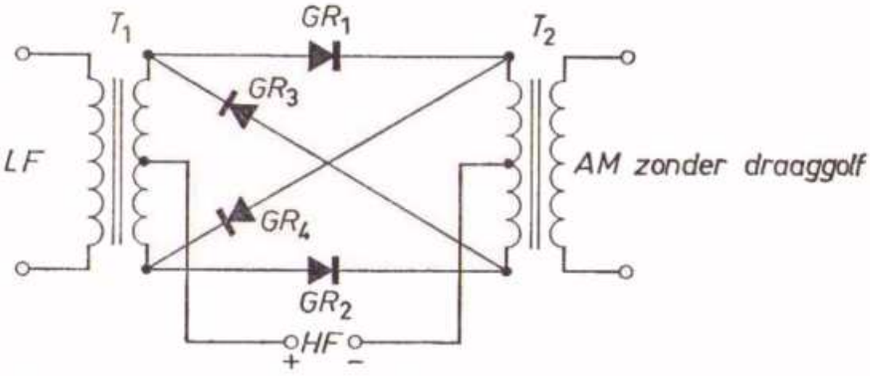


Fig. 3.21. Systeem voor amplitudemodulatie met behulp van een ringmodulator.

Wanneer men nu aan de in fig. 3.21 weergegeven gelijkrichtende modulator een HF-signaal toevoert met een frequentie van 38 kHz alsmede een LF-signaal met de frequentie van 4,22 kHz, ontstaat aan de uitgang van de overdrager T_2 het reeds uit fig. 3.13 bekende grafische verloop van het verschilsignaal ($L—R$). In het voorafgaande werd reeds gewezen op de overeenkomst tussen het grafische verloop van een verschilsignaal en dat van amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf (zie par. 3.3.1). Voor de duidelijkheid is hier in fig. 3.22 deze grafiek nogmaals weergegeven.

In fig. 3.22 belichaamt de door de nullijn gaande omhullende de amplitude van het verschilsignaal ($L—R$), die in het ritme van de frequentie 38 kHz

voortdurend wordt omgeschakeld. Zoals bekend was de spanning van 38 kHz uit het stereosignaal verkregen. We constateren dus nu dat deze spanning ook uit een gelijkrichtende modulator kan worden verkregen. Het is duidelijk dat men bij deze schakeling voor een gelijkrichtende modulator niet van een echte draaggolffrequentie van 38 kHz kan spreken, ofschoon de uitgangsspanning in het ritme van 38 kHz oscilleert.

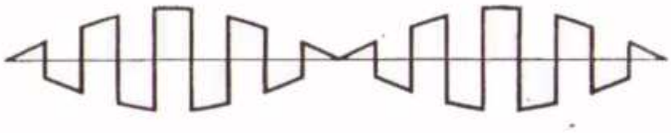


Fig. 3.22. Het verloop van de kromme bij amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf is gelijk aan dat van het stereoverschilsignaal.

Hoe kan men nu inzien, dat in de uitgangsspanning van de gelijkrichtende modulator geen component van 38 kHz aanwezig is? Het antwoord op deze vraag is gelegen in de fasesprong op het punt waar de omhullende door de nullijn gaat. Bij de overgang van de ene door de nullijn gaande omhullende op de andere (bij het omschakelen van de gelijkrichtende modulator resp. bij het tot stand brengen van het stereosignaal, zie par. 3.2.2) daalt de spanning van 38 kHz, welke op dat moment een positieve amplitude heeft, tot nul (zie fig. 3.22), maar zet zich niet in negatieve richting voort. Daarentegen volgt na een fasesprong van 180°, een voortzetting in positieve richting. Wil men nu uit het verschilsignaal ($L—R$) een component van 38 kHz (te vergelijken met de draaggolffrequentie) door het vormen van een gemiddelde waarde met behulp van een op 38 kHz afgestemd resonantiecircuit uitzeven, dan blijkt deze gemiddelde waarde gelijk aan nul te zijn. De oorzaak hiervan ligt in de omstandigheid dat het resonantiecircuit tengevolge van de fasesprong telkens tegengesteld wordt aangestoten en er zodoende over meer dan een periode in het geheel geen trilling tot stand komt. Dientengevolge is in het verschilsignaal geen component van 38 kHz aanwezig. In de op een AM-trilling met onderdrukte draaggolf gelijkende spanning van 38 kHz zijn alleen de zijbandfrequenties 38 kHz + $f_{L—R}$ en 38 kHz − $f_{L—R}$ aanwezig, hetgeen aan de hand van een hiertoe geschikte proef gemakkelijk kan worden aangetoond. Hiervoor verwijzen wij naar het voorbeeld uit par. 3.3.1 en de daarbij behorende schakeling in fig. 3.15.

Als eindconclusie kan men dus vaststellen dat een schakeling met een ringmodulator amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf oplevert. De karakteristieke kenmerken voor een dergelijke vorm van amplitudemodu-

latie zijn de fasesprong en het door nul gaande verloop van de modulatie, daar de ringmodulator slechts omschakelt. Het met 38 kHz oscillerende verschilsignaal $(L—R)$ vormt een amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf met de in de vorige alinea genoemde zijbandfrequenties
38 kHz $+f_{L—R}$ en 38 kHz $- f_{L—R}$.

HOOFDSTUK 4

HET STEREOFONISCH UITZENDEN

In het vorige hoofdstuk werd de totstandkoming van het stereosignaal volgens het systeem met omschakeling beschreven (zie par. 3.2 en fig. 3.3). Een ander systeem is het matrixprocédé, dat eveneens een som- en een verschilsignaal levert [40]. Zo goed als het stereosignaal in een som- en een verschilsignaal kan worden ontbonden, kan het omgekeerd ook hieruit worden samengesteld. Dit is ook zonder voortdurende omschakeling tussen L en R mogelijk, zoals in het navolgende in het kort zal worden uiteengezet.

Door een juiste schakeling en aansluiting van de microfoons voor L en R in een z.g. matrixschakeling kunnen het somsignaal $(L+R)$ en het verschilsignaal $(L-R)$ worden gevormd. Vervolgens behoeft dan alleen nog het laagfrequente verschilsignaal te worden overgebracht op de spanning van 38 kHz (zie par. 3.3.1). Wanneer het hierna verkregen signaal dan wordt toegevoegd aan het laagfrequente somsignaal ontstaat het stereosignaal. Op het eerste gezicht lijkt dit matrixprocédé omslachtig. Het heeft echter een bepaald uitgesproken voordeel, waaraan wij niet mogen voorbijgaan. Dit voordeel is namelijk hierin gelegen, dat bij de opname de amplitude van het verschilsignaal, dat zoals bekend de richtingsinformatie bevat, naar believen kan worden ingesteld. Daardoor is de opnametechniek bij dit systeem soepeler. Door een grotere amplitude van het verschilsignaal ontstaat een bredere ruimtelijke indruk; de geluidsbronnen worden schijnbaar waaiervormig verspreid. Men spreekt daarom in dit verband van de stereospreider.

Ter verduidelijking is een dergelijke matrixschakeling in fig. 4.1 afgedrukt. De L-informatie wordt versterkt aan de overdrager T_1 toegevoerd. Op overeenkomstige wijze wordt de R-informatie versterkt aan de overdrager T_2 toegevoerd. Van de secundaire wikkelingen der beide overdragers zijn S_2 en S_3 in gelijke fase in serie geschakeld; deze leveren het somsignaal $(L+R)$. S_1 en S_4 zijn in tegenstelde fase in serie geschakeld; deze leveren het verschilsignaal $(L-R)$.

Na de versterking van het verschilsignaal kan de amplitude hiervan

worden ingesteld met behulp van de stereospreider. In een modulator (zie par. 3.3.1) wordt het laagfrequente verschilsignaal overgebracht op de spanning van 38 kHz. Aan de uitgangsweerstand R_A vormt het verkregen signaal te zamen met het somsignaal het stereosignaal, waarbij dit volkomen gelijk is aan het stereosignaal dat d.m.v. het omschakelprocédé wordt verkregen, wanneer men even voorbijziet aan de extra mogelijkheid welke het matrixprocédé biedt om met behulp van de stereospreider het verschilsignaal in te stellen.

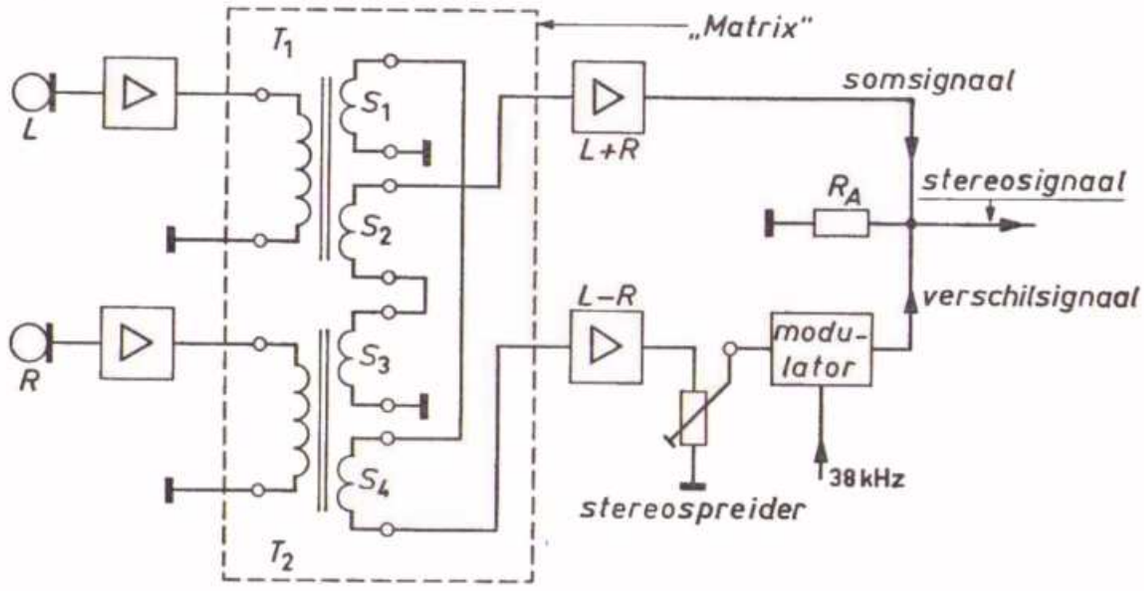


Fig. 4.1. Matrixschakeling voor het opwekken van som- en verschilsignaal.

Zoals reeds in het voorafgaande is uiteengezet, loopt het frequentiespectrum van het stereosignaal tot 53 kHz (zie par. 3.2.4). Voor de overdracht van een dergelijk spectrum is de FM het aangewezen medium.

Het lag niet in de bedoeling van de schrijver om in de volgende paragrafen de schakelingtechniek voor stereo-radiozenders te behandelen. Niettemin vindt men hierin verschillende punten, waarvan het, ten behoeve van een juist inzicht in de ontvangtechniek, goed is ze te kennen [40].

4.1 Intensiteitsstereofonie

De stereofonie berust, in de zin zoals wij hier behandelen, op de overdracht resp. de weergave van twee geluidsinformaties, welke een overeenkomstige relatie hebben als die tussen de geluidsindrukken welke het men-

selijk gehoor d.m.v. de beide oren waarneemt (zie par. 1.1). Dit kan bijv. bij een opname geschieden met behulp van een kunsthoofd waarbij op de plaatsen dan de oren aan een microfoon is aangebracht (zie par. 1.3). Bij een dergelijke opneemtechniek ontstaan tussen de *L*- en de *R*-informatie amplitude-, fase- en klankkleurverschillen. De praktijk heeft evenwel aangetoond, dat reeds een voldoend stereo-effect wordt bereikt, als niet alle drie hiervoor genoemde karakteristieke eigenschappen bij het opnemen en uitzenden worden benut. Reeds wanneer er alleen amplitudeverschillen tussen het *L*- en het *R*-signaal worden weergegeven, ontstaat een goede stereofonische geluidsindruk. Deze op intensiteitsverschillen berustende vorm van stereofonie biedt het voordeel dat in het somsignaal (ook wel monosignaal genoemd) geen opheffing van bepaalde individuele frequenties kan optreden, doordat zij, zoals zich bij het opnemen van faseverschillen kan voordoen, in tegenfase in het signaal terechtkomen. Dit is een omstandigheid welke in het bijzonder met het oog op de compatibiliteit (zie par. 3.2.5), speciaal de aandacht verdient. Bij de intensiteitsstereofonie wordt opgenomen met twee microfoons, die in éénzelfde punt in de zaal zijn opgesteld. Op deze

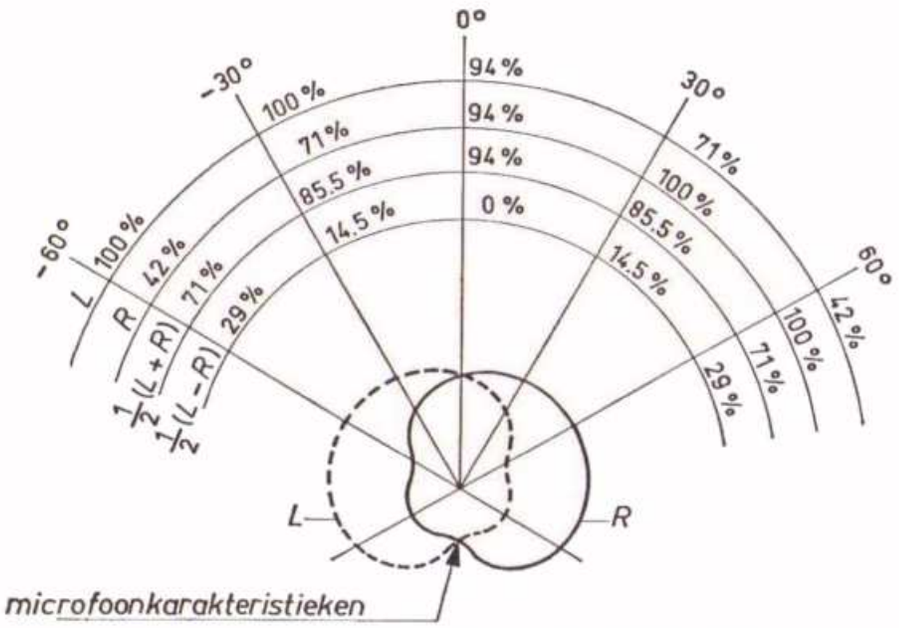


Fig. 4.2. Principe van de intensiteitsstereofonie.

wijze ontstaan geen verschillen in fase en klankkleur. De microfoons die voor deze vorm van stereofonisch opnemen worden gebruikt, hebben een bepaalde richtingskarakteristiek (par. 2.1); dit kunnen bijv. microfoons zijn met een cardioïdevormige karakteristiek, zoals in fig. 4.2 in een diagram

is voorgesteld. De assen van de beide richtingskarakteristieken zijn 120° ten opzichte van elkaar gedraaid. De in het diagram van fig. 4.2 gegeven percentages voor de amplitudes hebben betrekking op het fictieve geval dat een geluidsbron zich in een cirkelboog (met de microfoons als middelpunt) om de microfoons beweegt. De waarden gelden voor de richtingen −60°, −30°, 0°, 30° en 60°. Volgens het diagram is de uitsturing van de zender, wat de amplitude betreft, voor iedere richting verschillend.

4.2 De uitsturing van de zender

Voor de uitsturing van de stereozender is vastgesteld dat het pilootsignaal 10% van de maximale frequentiezwaai moet zijn. De resterende 90% zijn beschikbaar voor het eigenlijke stereosignaal (zie par. 3.2.4). In het navolgende zal de uitsturing van de zender voor twee richtingen uit het diagram in fig. 4.2 (diagram voor twee in één punt opgestelde cardioïdemicrofoons) worden behandeld. Daarbij wordt uitgegaan van een frequentieband van 30 Hz tot 15 kHz.

4.2.1 De 0°-richting

Bij de 0°-richting hebben wij te maken met het akoestisch midden. In dit geval leveren de beide microfoons signalen met gelijke amplitudes. Op grond van de voor deze richting geldende waarden van de richtingskarakteristieken der beide microfoons bedraagt de maximale amplitude $L = R = 94\%$ (zie fig. 4.2). De amplitude van het somsignaal $(L+R)$ bedraagt eveneens 94%, terwijl het verschilsignaal $(L-R)$ gelijk is aan nul. Daaruit kan men concluderen dat een middensignaal tegelijkertijd ook een monosignaal is. Bij de 0°-richting wordt de zender uitgestuurd overeenkomstig de grafische voorstelling van fig. 4.3. Bij een akoestisch middensignaal

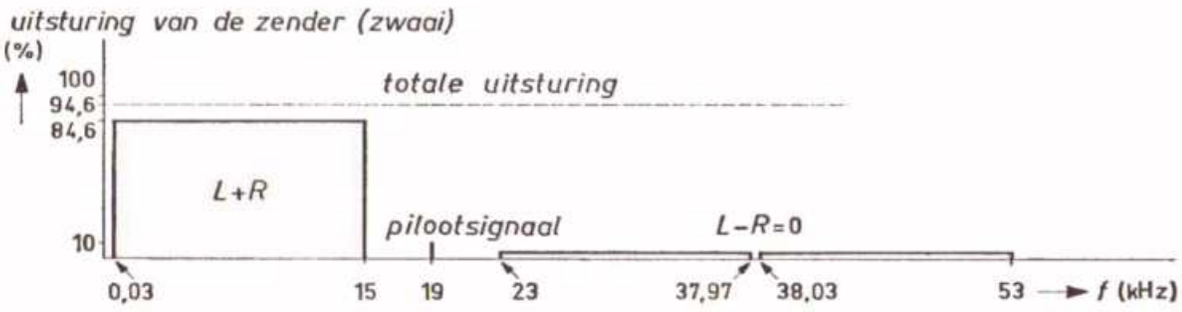


Fig. 4.3. Uitsturing van de zender bij een geluidsbron in de 0°-richting.

wordt de stereozender praktisch op dezelfde wijze als een monozender gemoduleerd, namelijk met het somsignaal. Dit heeft in het onderhavige geval een amplitude van 94%. Aangezien 100% amplitude van het somsignaal een frequentiezwaai van 90% veroorzaakt, bedraagt nu de effectieve zwaai $90 \cdot 0{,}94 = 84{,}6\%$. De totale uitsturing van de zender wordt nu, met inbegrip van de 10% voor het pilootsignaal, $84{,}6 + 10 = 94{,}6\%$.

4.2.2 De —60°-richting

Volgens fig. 4.2 bedragen de amplitudes voor de *L*- en *R*-informaties voor deze richting resp. 100% en 42%.

De amplitude van het somsignaal ($L+R$) bedraagt 71%, die van het verschilsignaal 29%. De amplitude van het verschilsignaal wordt telkens in twee helften, dus twee maal 14,5% over de beide zijbanden verdeeld. Doordat 100% nuttig signaal overeenkomt met een uitstuurpercentage van 90% moeten deze waarden met een factor 0,9 worden vermenigvuldigd. In fig. 4.4 is de uitsturing van de zender voor het geval van de —60°-richting in een diagram weergegeven.

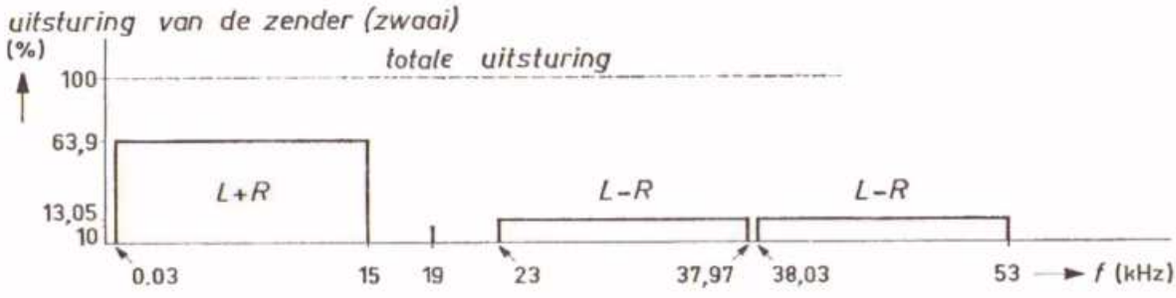


Fig. 4.4. Uitsturing van de zender bij een geluidsbron in de –60°-richting.

Uit de diagrammen in de fig. 4.3 en 4.4 blijkt, dat de amplitude van het somsignaal (voor mono-ontvangers dus het monosignaal) ten opzichte van de 0°-richting, waar deze waarde 84,6% bedroeg, tot 63,9% verandert. Bij een gewone mono-uitzending zou de uitsturing bij iedere willekeurige richting 100% hebben bedragen. Hieruit volgt dat de gemiddelde amplitude van het monosignaal bij een stereozender slechts ongeveer 70% bedraagt van de waarde van de gemiddelde amplitude bij uitzending via een monozender, althans indien men uitsluitend intensiteitsstereofonie toepast. De in de praktijk bereikte waarden zijn echter beter (zie par. 3.2.4).

4.3 De bandbreedte van de zender

Bij de frequentiemodulatie hangt het aantal zijbandfrequenties en daarmede de uitzendbandbreedte B, af van de maximale frequentiezwaai $\Delta f_{HF\max}$ en van de bijbehorende hoogste modulatiefrequentie $f_{LF\max}$. Hun onderlinge verhouding kan worden vastgelegd in de volgende vergelijking:

$$B_{\max} = 2\,(\Delta f_{HF\max} + 2f_{LF\max})$$

Volgens deze vergelijking verkrijgt men bij toepassing op de normale FM-zendtechniek, uitgaande van een hoogste modulatiefrequentie van $_{LF\max} = 15$ kHz en een bijbehorende maximale frequentiezwaai van $\Delta f_{HF\max} = 75$ kHz een maximale bandbreedte $B_{\max} = 210$ kHz. Daaruit is ook de vastgelegde afstand tussen de kanalen van 300 kHz afgeleid.

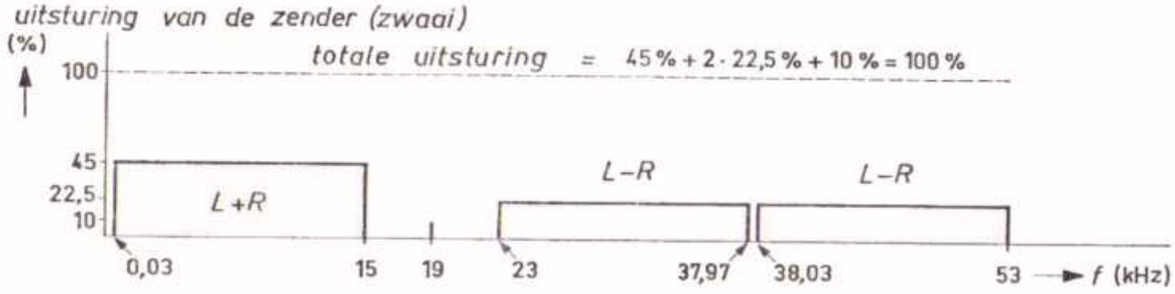


Fig. 4.5. Uitsturing van de zender bij ontbrekende R-informatie.

Aangezien echter bij modulatie met het stereosignaal de hoogste modulatiefrequentie $f_{LF\max} = 53$ kHz bedraagt, wordt de uitzendbandbreedte B hierdoor onvermijdelijk groter. Om met de hiervoor gegeven formule te kunnen werken, is het nodig ook de bijbehorende maximale frequentiezwaai $\Delta f_{HF\max}$ te kennen. Het is duidelijk dat de door het verschilsignaal ingenomen bandbreedte de grootste amplitude heeft wanneer een van de informaties L of R ontbreekt, d.w.z. wanneer de amplitude van een dezer informaties gelijk is aan nul. Het verschilsignaal is dan immers het grootst. Voor het geval $L = 100\%$ en $R = 0\%$ geldt het diagram in fig. 4.5. Uit dit grensgeval kan de maximale bandbreedte worden afgeleid. De uitsturing van de ene zijband bedraagt daarbij 22,5%. De maximale frequentie $f_{LF\max} = 53$ kHz heeft een aandeel in de uitsturing met een frequentiezwaai $f_{HF} = 75 \cdot 0{,}225 = 16{,}9$ kHz. Door deze frequentiezwaai nu in te vullen in de formule voor $B_{\max}$, wordt als uitkomst verkregen:
$B_{\max} = 2(\Delta f_{HF\max} + 2f_{LF\max}) = 2[16{,}9 + (2 \cdot 53)] = 246$ kHz.

Hieruit blijkt duidelijk dat de uitzendbandbreedte bij stereo-uitzendingen slechts een factor 1,2 maal groter is dan bij mono-uitzendingen, zodat de vastgestelde afstand tussen de kanalen van 300 kHz in geen geval wordt overschreden.

HOOFDSTUK 5

HET STEREOFONISCH ONTVANGEN

Het is niet moeilijk om uit het voorafgaande te begrijpen dat in een stereo-ontvanger zowel aan de MF-versterker als aan de ratiodetector hogere eisen worden gesteld dan in een mono-ontvanger. De reden hiervoor is gelegen in de grotere frequentie-inhoud van het stereosignaal. Zoals in par. 4.3 is berekend, bedraagt de maximale bandbreedte bij stereo-uitzendingen 246 kHz. Deze breedte wordt echter slechts gedurende korte tijd bij de grootste geluidssterkten bereikt. De overeenkomstige waarde voor mono-uitzendingen ligt, zoals bekend, bij 210 kHz. Door dit verschil doen zich in de MF-versterker bepaalde verschijnselen voor, waarmede, ook al zijn zij niet van ernstige aard, terdege rekening moet worden gehouden. De ervaring leert dat bij stereo-ontvangers een MF-bandbreedte van 180 . . . 200 kHz voldoende is. Deze is overigens bij mono-ontvangers nog kleiner. Dit is ook een van de redenen waarom het achteraf inrichten van oudere mono-ontvangers voor HF-stereofonie niet bevredigt.

De overdracht van hogere modulatiefrequenties gaat echter ook gepaard met een verhoogde kans op vervorming van het stereosignaal in de MF-versterker tengevolge van verschillende fasedraaiingen. Dit komt tot uiting in een toeneming van het overspreken en een hogere vervormingsfactor [40].

Aangezien het aan de uitgang van de ratiodetector verkregen stereosignaal frequenties kan bevatten van waarden tot 53 kHz, volgt hieruit noodzakelijkerwijze dat de ratiodetector een belangrijk hogere LF-grensfrequentie moet hebben dan bij mono-ontvangst (zie par. 3.2.4). Als men nu uitgaat van de opvatting dat de beide LF-informaties in de zender zijn samengevoegd onder een bepaalde „codering", dan komt men vanzelf tot de gevolgtrekking dat ze in de ontvanger weer kunnen worden gescheiden door ze in de juiste volgorde te „decoderen". Voor deze decodering zorgt nu een z.g. stereo-decodeerorgaan. Dit heeft de navolgende drie functies:

1. Het weer omzetten van de pilootfrequentie van 19 kHz in de hulpdraaggolf van 38 kHz.

2. De vorming van de *L*- en de *R*-informaties door doelmatige combinatie van het hoofd- en het hulpkanaal onder toevoeging van de hulpdraaggolf.
3. Het verzwakken van de hoge frequenties (de-emfase).

De ontwikkeling van dergelijke decodeerschakelingen gaat gepaard met tamelijk ingewikkelde problemen van uiteenlopende aard. Het is daarom niet verwonderlijk dat de tot nu toe bekende oplossingen hierdoor ook zeer verschillen. Er bestaan bijv. niet alleen verschillende typen decodeersystemen, maar ook binnen het kader van eenzelfde systeem nog weer verschillende schakelingen [42]. Er zijn drie principieel verschillende systemen bekend, waaraan de desbetreffende decodeerschakelingen hun naam ontlenen: decodeerorgaan met schakeldetectie, decodeerorgaan met omhullendendetectie en decodeerorgaan volgens het matrixprincipe. Deze drie systemen worden in de drie volgende paragrafen van dit hoofdstuk besproken [40]. Daarop aansluitend volgt dan nog een paragraaf over indicatieschakelingen, die in het kader van de HF-stereotechniek mede zijn ontwikkeld.

5.1 Decodeerorgaan met schakeldetectie

In par. 3.2 is reeds behandeld op welke wijze in principe door middel van een schakelaar in de ontvanger gecombineerd met een overeenkomstige schakelaar in de zender, bij gelijktijdige omschakeling tussen het linker- en het rechterkanaal, de overdracht van stereosignalen van één zender naar een ontvanger kan worden gerealiseerd. Natuurlijk zou niemand op het idee komen om een dergelijke schakelaar mechanisch uit te voeren. De omschakelfrequentie bedraagt altijd nog 38 kHz!

Het ligt dus voor de hand dat de oplossing voor dit schakelprobleem in het elektronische vlak ligt.

Bij beschouwing van het in fig. 5.1 weergegeven blokschema, ziet men als eerste eenheid welke volgt op de ratiodetector, een laagdoorlatend filter met een grensfrequentie $f_g = 55$ kHz. Dit laagdoorlatend filter laat dus het gehele stereosignaal door. Zoals bekend, is voor het synchrone omschakelen tussen de beide kanalen een spanning van 38 kHz nodig. Voor dit doel wordt de pilootfrequentie van 19 kHz uit het stereosignaal gezeefd en vervolgens verdubbeld. Met de op deze wijze verkregen spanning van 38 kHz worden twee in tegenfase werkende schakelaars gestuurd, waaraan

het volledige stereosignaal wordt toegevoerd. Bij werking in de juiste fase, wordt dan in het ritme van 38 kHz steeds op het juiste ogenblik omgeschakeld en daardoor wordt een goede scheiding van de beide kanalen verkregen.

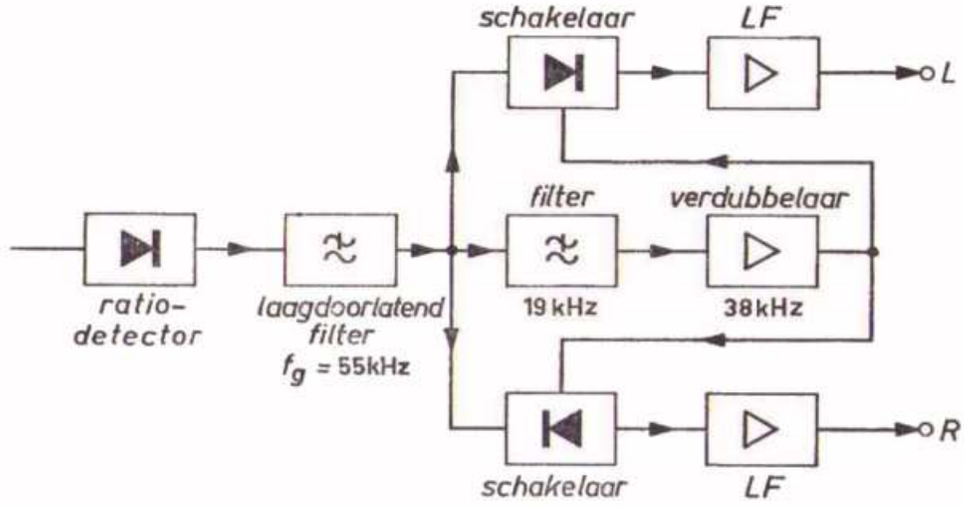


Fig. 5.1. Het blokschema van het decodeerorgaan voor schakeldetectie.

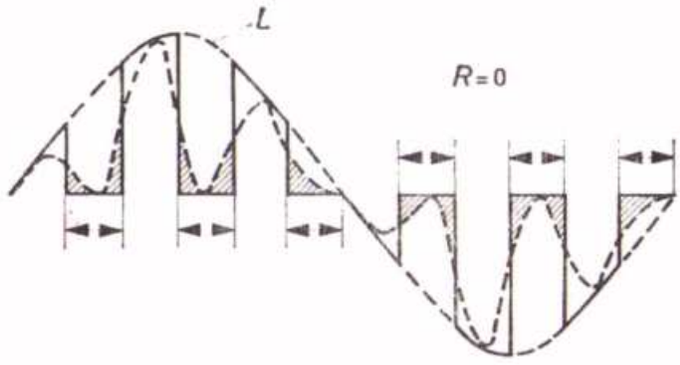


Fig. 5.2. Stereosignaal zonder pilootsignaal met alleen *L*-informatie (R=O).

Daar echter bij een absoluut nauwkeurige omschakeling geen volledige scheiding van de beide kanalen kan worden bereikt, past men z.g. overspreekcompensatie toe. Het waarom zal in het navolgende in het kort worden behandeld. In de eerste plaats zien wij in fig. 5.2 een stereosignaal zonder pilootsignaal, waarbij slechts één kanaal een signaal bevat ($R = 0$). In de zender wordt dus bij deze situatie heen en weer geschakeld tussen kanaal L en kanaal R, waarbij in het laatstgenoemde geen signaal aanwezig is. Het effect hiervan vindt men terug in zeer steile spanningsflanken, voor welker overdracht de bandbreedte belangrijk meer dan 53 kHz zou moeten bedragen. Aangezien echter reeds vóór de modulatie van de zender alle frequenties boven 53 kHz worden afgesneden, ontstaan schuine, ten aanzien van hun sinusvorm vervormde, flanken. Wanneer nu het decodeer-

orgaan volgens het in fig. 5.2 weergegeven verloop van het linkerkanaal naar het rechterkanaal ($R = 0$) omschakelt, zijn in dat kanaal nog spanningsresten van het linkerkanaal aanwezig (gearceerd voorgesteld).

In fig. 5.3a is nogmaals het stereosignaal met zijn schuine flanken weergegeven. De in het linkerkanaal van het decodeerorgaan, tengevolge van in fase juiste omschakeling in het ritme van 38 kHz ontstane, impulsspan-

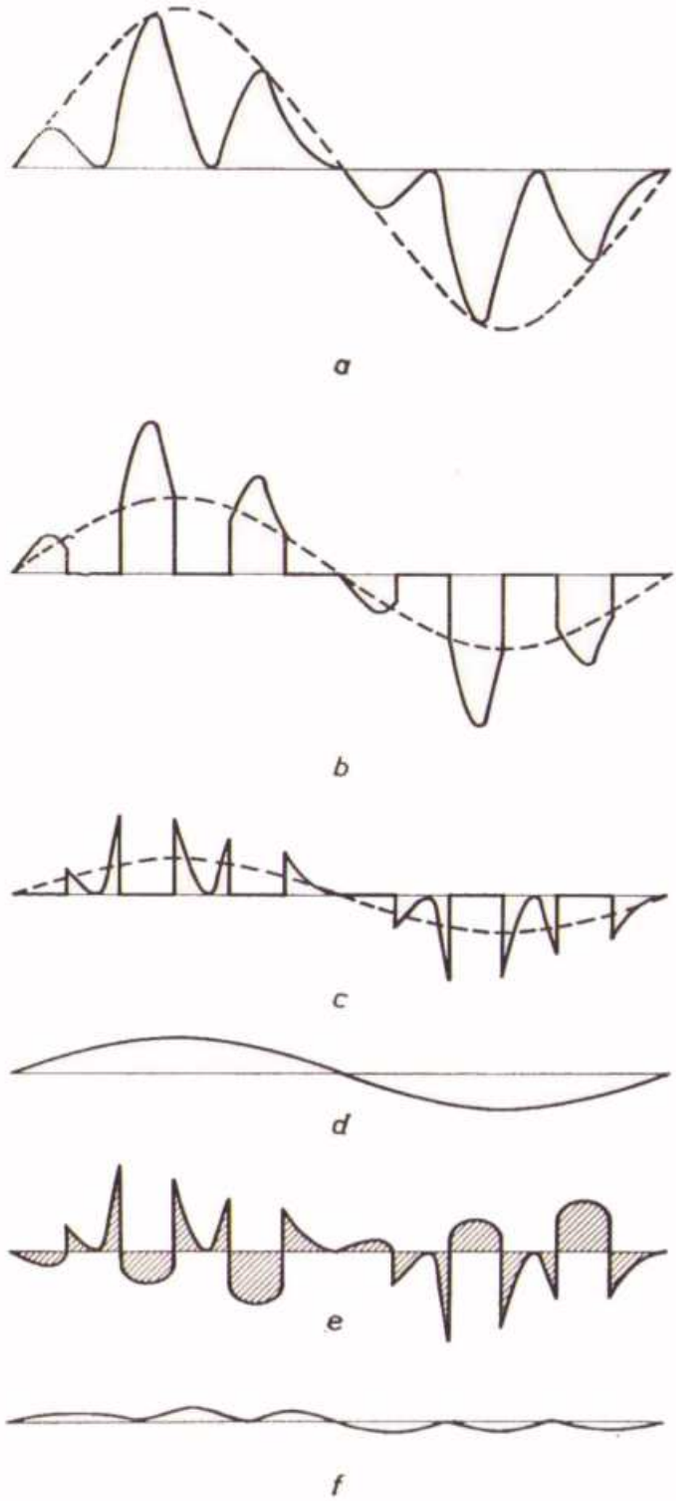


Fig. 5.3. Stereosignaal in de verschillende fasen, welke betrekking hebben op de overspraakcompensatie. De figuren worden in de tekst toegelicht.

ningen zijn weergegeven in fig. 5.3b. Achter het de-emfasefilter volgt de spanning de in de figuur met een stippellijn aangeduide gemiddelde waarde; hierin vinden wij het nuttige LF-signaal terug. Fig. 5.3c laat duidelijk de spanningsresten zien, die in ons aangenomen geval bij omschakeling in de juiste fase in het rechterkanaal ($R = 0$) zijn ontstaan. Men ziet, dat ondanks het in de zender volledig ontbreken van modulatie in het rechterkanaal, in het decodeerorgaan een spanning ontstaat, welke in een bepaalde relatie staat tot die in het linkerkanaal. Deze wordt namelijk gevormd door de schuine flanken in het linkerkanaal! Hier doet zich dus een bepaalde vorm van overspreken voor. Indien men hier geen overspraakcompensatie zou toepassen, zou aan het de-emfasefilter eveneens een nuttig LF-signaal optreden, en wel een signaal overeenkomstig de gestippelde kromme in fig. 5.3c. Daardoor zou in het ongemoduleerde rechterkanaal een signaal ontstaan met dezelfde frequentie als in het gemoduleerde linkerkanaal (zie fig. 5.3d). Het ligt daarom voor de hand om in het decodeerorgaan een bepaald percentage van het signaal in het gemoduleerde kanaal, na een faseomkering van 180°, aan het ongemoduleerde kanaal toe te voeren. Dit is in fig. 5.3e weergegeven. Indien dan de door de krommen omsloten oppervlakken door middel van een juiste instelling van de compensatiespanningen, in het positieve en in het negatieve gebied zoveel mogelijk aan elkaar gelijk worden gemaakt, wordt hierdoor het overspreken tot een minimum teruggebracht. Door de filtering van de spanning van 38 kHz moet dan in het gunstigste geval de verkregen gemiddelde waarde met de nullijn samenvallen.

Het is natuurlijk duidelijk dat door de onvermijdelijke asymmetrie van de door de krommen ingesloten vlakken, van de overspraak steeds een kleine rest overblijft. Hiervan geeft fig. 5.3f een indruk. Men mag er daarbij niet aan voorbijzien dat deze vorm van compensatie niet berust op de wederzijdse opheffing van twee gelijktijdig aanwezige, in fase tegengestelde, spanningen. In een dergelijk geval zou de gemiddelde waarde natuurlijk gelijk aan nul zijn, hetgeen een volkomen compensatie zou betekenen. Veeleer wordt hier het overspreken eerst gecompenseerd na de vorming van de gemiddelde waarde van in de tijd verschoven, in tegenfase zijnde, spanningen.

In fig. 5.4 is het schema weergegeven voor een decodeerorgaan met schakeldetectie [43]. De ingang van het decodeerorgaan is verbonden met de ratiodetector. Het door de spoel S_{101} en de condensator C_{201} gevormde resonantiecircuit is afgestemd op de pilootfrequentie van 19 kHz. De op deze wijze uitgefilterde pilootfrequentie wordt toegevoerd aan de basis

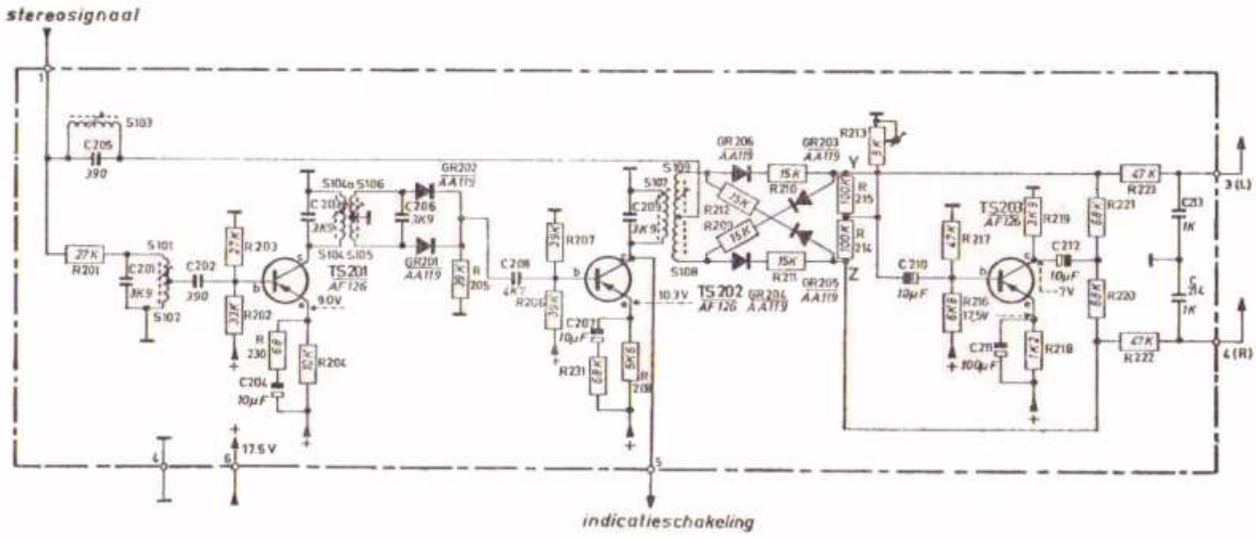


Fig. 5.4. Schema voor de praktische schakeling van een decodeerorgaan met schakeldetectie.

van de transistor TS_{201}. De in het collectorcircuit van deze transistor opgenomen overdrager is eveneens op 19 kHz afgestemd. Uit de door de spoelen S_{105} en S_{106} gevormde secundaire wikkeling wordt het versterkte pilootsignaal verkregen. De middenaftakking van de secundaire wikkeling is daarbij met massa verbonden. Door middel van de uit de dioden Gr_{201} en Gr_{202} bestaande tweewegsgelijkrichtschakeling wordt de pilootfrequentie tot 38 kHz verdubbeld. Deze frequentie staat over de belastingsweerstand R_{205} en wordt door de transistor TS_{202} versterkt. Zij wordt vervolgens in het collectorcircuit van de transistor TS_{202} door het uit de spoel S_{107} en de condensator C_{209} bestaande filter uitgezeefd en via de secundaire wikkeling S_{108}/S_{109} aan de ringdemodulator toegevoerd. In de ringdemodulator zijn de dioden Gr_{203}, Gr_{204}, Gr_{205} en Gr_{206} opgenomen. Het stereosignaal ligt via een uit de spoel S_{103} en de condensator C_{205} bestaande zeefketen voor het SCA-signaal (zie par. 3.2.1) aan de middenaftakking van de uit de spoelen S_{108} en S_{109} bestaande secundaire wikkeling. In de ringdemodulator wordt het geregenereerde hulpdraaggolfsignaal gedemoduleerd. Dit vormt, te zamen met het somsignaal, in het punt Y (het verbindingspunt $R_{210}/Gr_{203}/R_{215}$) de linker- en het punt Z (het verbindingspunt $R_{211}/Gr_{205}/R_{214}$) de rechterstereo-informatie. Deze informaties worden via de de-emfasefilters R_{223}/C_{213} resp. R_{222}/C_{214} naar de beide LF-versterkerkanalen geleid.

De laatste trap met de transistor TS_{203} dient voor de overspraakcompensatie. Wordt op een gegeven tijdstip bijv. juist op het rechterkanaal geschakeld, dan wordt via de uit de weerstanden R_{213} en R_{214} bestaande spannings-

deler een gedeelte van het R-signaal aan de basis van de transistor TS_{203} toegevoerd. Dit gedeelte van het signaal verschijnt in tegenfase en versterkt aan de collector en wordt via de weerstand R_{221} aan het linkerkanaal toegevoegd. Deze schakeling voorziet aldus in de overspraakcompensatie, welke in het voorafgaande aan de hand van fig. 5.3e is besproken. Met behulp van de instelweerstand R_{213} kan deze overspraakcompensatie zodanig worden gedoseerd, dat een minimaal overspreken wordt verkregen. Wordt het volgende moment op het linkerkanaal overgeschakeld, dan wordt via de uit de weerstanden R_{213} en R_{215} bestaande spanningsdeler een gedeelte van het linkersignaal aan de basis van de transistor TS_{203} toegevoerd. Dit gedeelte van het linkersignaal wordt dan weer, na overeenkomstige versterking, in tegenfase via de weerstand R_{220} aan het rechterkanaal toegevoegd.

Het in de beide gevallen, onvermijdelijk ook aan het eigen kanaal toegevoerde spanningspercentage heeft slechts een onbetekenende invloed op de uitgangsamplitude. Aangezien de voeding van het decodeerorgaan geschiedt door middel van de werkspanning van een ontvanger met buizen, ligt de minuspool van de schakeling aan massa.

5.2 Decodeerorgaan met omhullendendetectie

Ook bij deze methode berust het principe hierop, dat aan het stereosignaal (fig. 5.5a) een constante spanning uo met een frequentie van 38 kHz wordt

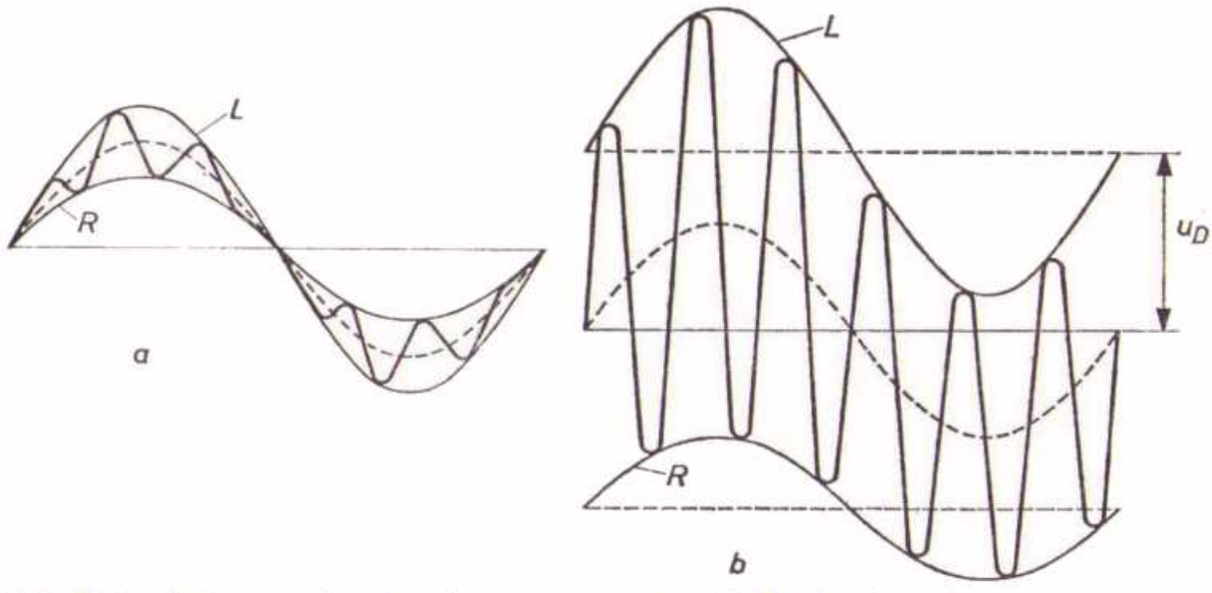


Fig. 5.5. Het principe van het decodeerorgaan met omhullendendetectie; aan het stereosignaal (a) wordt een constante spanning van 38 kHz toegevoegd, waardoor de beide omhullenden uit elkaar komen te liggen (b).

toegevoegd. Daardoor komen de beide omhullenden uit elkaar te liggen (fig. 5.5b) [41]. In het eenvoudigste geval zijn hiervoor twee diodes met bijbehorende *RC*-schakelingen nodig, alsmede een netwerk dat dient voor het samenvoegen van het stereosignaal en de hulpdraaggolf [42]. In fig. 5.6 is hiervoor een blokschema gegeven, terwijl fig. 5.7 het hiervan afgeleide schakelschema te zien geeft.

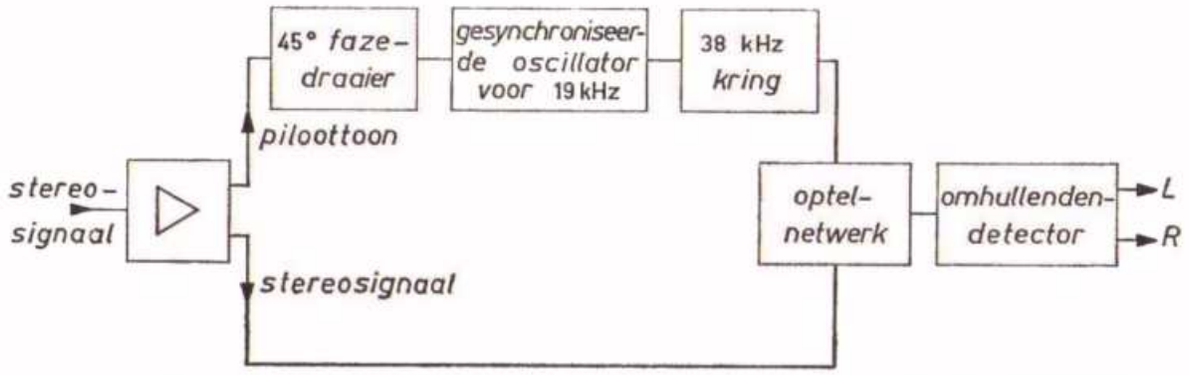


Fig. 5.6. Blokschema voor het decodeerorgaan met omhullendendetectie.

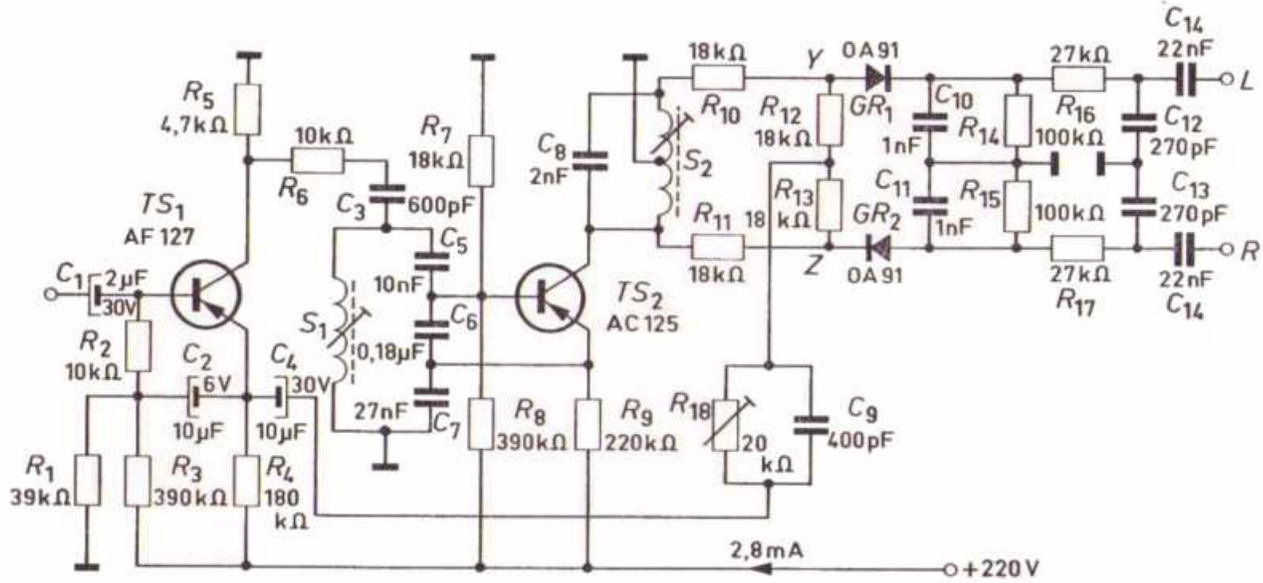


Fig. 5.7. Schema voor de praktische schakeling van een decodeerorgaan met omhullendendetectie.

Om spanningen tot ongeveer 7 V te kunnen verwerken, is de eerste trap met de transistor TS_1 via de relatief grote emissorweerstand R_4 tegengekoppeld. Op deze wijze kon tevens een ingangsweerstand van ten minste 100 kΩ worden gerealiseerd. Aan de collector van de transistor TS_1 wordt de versterkte pilootfrequentie (19 kHz) afgetakt. Het is, met het oog op

de ingangsweerstand, die ook bij 19 kHz groot moet zijn, niet mogelijk in deze eerste trap een zuigfilter voor 19 kHz te gebruiken. Daarom is hier ook een HF-transistor van het type AF 127 toegepast, waarvan de terugwerkingssteilheid een voldoend lage waarde heeft. Zodoende blijft de ingangsweerstand van het decodeerorgaan ook bij 19 kHz groot genoeg, ondanks de naar verhouding hoge oscillatorspanning aan de collector van de transistor TS_1. De tweede trap met de transistor TS_2 fungeert als 19 kHz-oscillator, welke door het pilootsignaal wordt gesynchroniseerd. De condensatoren C_5 en C_7 dienen voor de spanningsdeling welke voor de terugkoppeling noodzakelijk is. De uit de weerstand R_6 en de condensator C_3 bestaande tak is zodanig gedimensioneerd dat de faseverschuiving van 45° tussen de pilootspanning aan de ingang en de spanning over het resonantiecircuit vrijwel onafhankelijk blijft van de amplitude van het pilootsignaal. Daardoor is verder een volkomen correcte synchronisatie tot een amplitude van het pilootsignaal van 50 mV gewaarborgd. Het werkpunt van de tweede trap is zodanig gekozen, dat de uitsturing door het pilootsignaal geschiedt in een zoveel mogelijk niet-lineair gedeelte van de karakteristiek. Dientengevolge is de collectorstroom van de transistor TS_2 vervormd; deze bewerkstelligt aan het resonantiecircuit voor 38 kHz, dat uit de spoel S_2 en de condensator C_8 bestaat, een amplitude van de hulpdraaggolf van ongeveer 8,5 V. Een terugkoppeling van percentages 38 kHz en hun harmonischen naar de ingang wordt door de symmetrische inrichting van het genoemde resonantiecircuit alsook door de brugschakeling van het optelnetwerk zoveel mogelijk tegengegaan. In het punt Y (het verbindingspunt $R_{10}/Gr_1/R_{12}$) wordt het L-signaal verkregen, in het punt Z (het ververbindingspunt $R_{11}/Gr_2/R_{13}$) het R-signaal, en wel als positieve resp. negatieve omhullende. De dioden Gr_1 en Gr_2 bewerkstelligen de topgelijkrichting van de uit de som van de hulpdraaggolf en het stereosignaal ontstane omhullende.

Ook bij dit decodeerprincipe doet zich overspreken voor. Compensatie hiervan kan geschieden door middel van versterking van de hoge frequenties van het verschilsignaal door middel van een hoogdoorlatend RC-filter. In de schakeling welke in fig. 5.7 is weergegeven, wordt dit filter gevormd door de weerstand R_{18} en de condensator C_9. Met behulp van de regelbare weerstand R_{18} kan het overspreken op een minimum worden ingesteld. Ook bij deze schakeling is de minuspool aan massa gelegd, omdat het decodeerorgaan moet worden gevoed uit een ontvanger met buizen.

5.3 Decodeerorgaan volgens het matrixprincipe

Deze methode is gebaseerd op de omkering van het aan het begin van hoofdstuk 4 aan de hand van fig. 4.1 behandelde matrixprocédé, dat in de zender o.a. de stereospreider als kenmerk heeft. Het blokschema voor het principe is in fig. 5.8 weergegeven [40, 41]. Zoals het stereosignaal in de zender uit het somsignaal $(L+R)$ en het verschilsignaal $(L-R)$ werd samengesteld, kan het op overeenkomstige wijze in de ontvanger weer in deze signalen worden gesplitst. Met behulp van een laagdoorlatend filter (0 . . . 15 kHz) wordt het somsignaal $(L+R)$ uit het stereosignaal gezeefd. Een bandfilter (23 . . . 53 kHz) dient voor het uitzeven van het verschilsignaal $(L-R)$. De onderdrukte draaggolf van 38 kHz kan, met inachtneming van de fasepositie, na verdubbeling van het pilootsignaal (19 kHz) weer worden toegevoegd. De dan ontstane in amplitude gemoduleerde trilling kan op de normale wijze met behulp van een diode worden gedemoduleerd. De optelling van het som- en het verschilsignaal levert het L-signaal op, de aftrekking geeft het R-signaal.

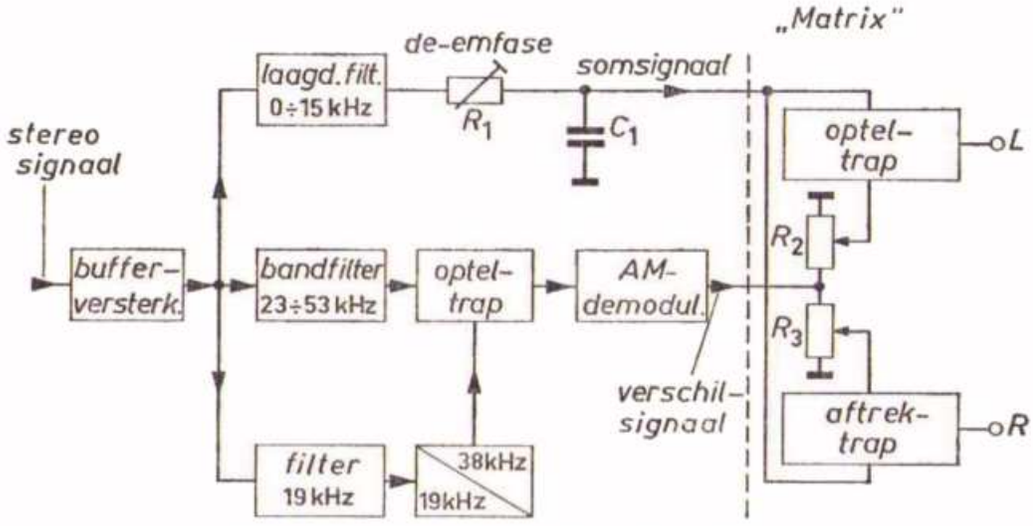


Fig. 5.8. Blokschema voor het decodeerorgaan volgens het matrixprincipe.

Met betrekking tot het overspreken kan worden gezegd, dat de schuine flanken, die in de beide eerder behandelde procédé's (zie par. 5.1) een storende invloed hadden, bij dit systeem geen nadelig effect sorteren. De vorm van deze flanken wordt bepaald door de uitgezonden bandbreedte in overeenstemming met de maximale frequentie van het kanaal voor het

verschilsignaal. Zou men het som- en het verschilsignaal inderdaad naar amplitude en fase volkomen getrouw terugverkrijgen, dan zou men hiermede een volkomen scheiding van de kanalen bereiken. De beide signalen doorlopen echter verschillende wegen, zodat een ideale scheiding der kanalen ook bij dit procédé niet tegen een redelijk kostenniveau kan worden verwezenlijkt. De overspraakdemping wordt voor beide kanalen afzonderlijk ingesteld, door verandering van de amplitude van het aan de optel- resp. aftrektrappen toegevoerde verschilsignaal. De hiervoor dienende regelbare weerstanden zijn in het blokschema van fig. 5.8 met R_2 resp. R_3 aangeduid. Het frequentieverloop van het kanaal voor het somsignaal kan door regeling van de weerstand R_1 in het de-emfase-circuit R_1/C_1 worden gecorrigeerd, waarmede het overspreken ook bij verschillende frequenties laag wordt gehouden. De praktijk heeft aangetoond dat decodeerschakelingen volgens het matrixsysteem bij vergelijkbaar kostenniveau tegenover de beide hiervoor besproken decodeerschakelingen geen verbetering van de kanaalscheiding geven.

5.4 Indicatieschakelingen

Gelijk met de decodeerorganen voor stereofonische ontvangst heeft men in de stereo-ontvangers tevens indicatieschakelingen ingevoerd. Deze hebben

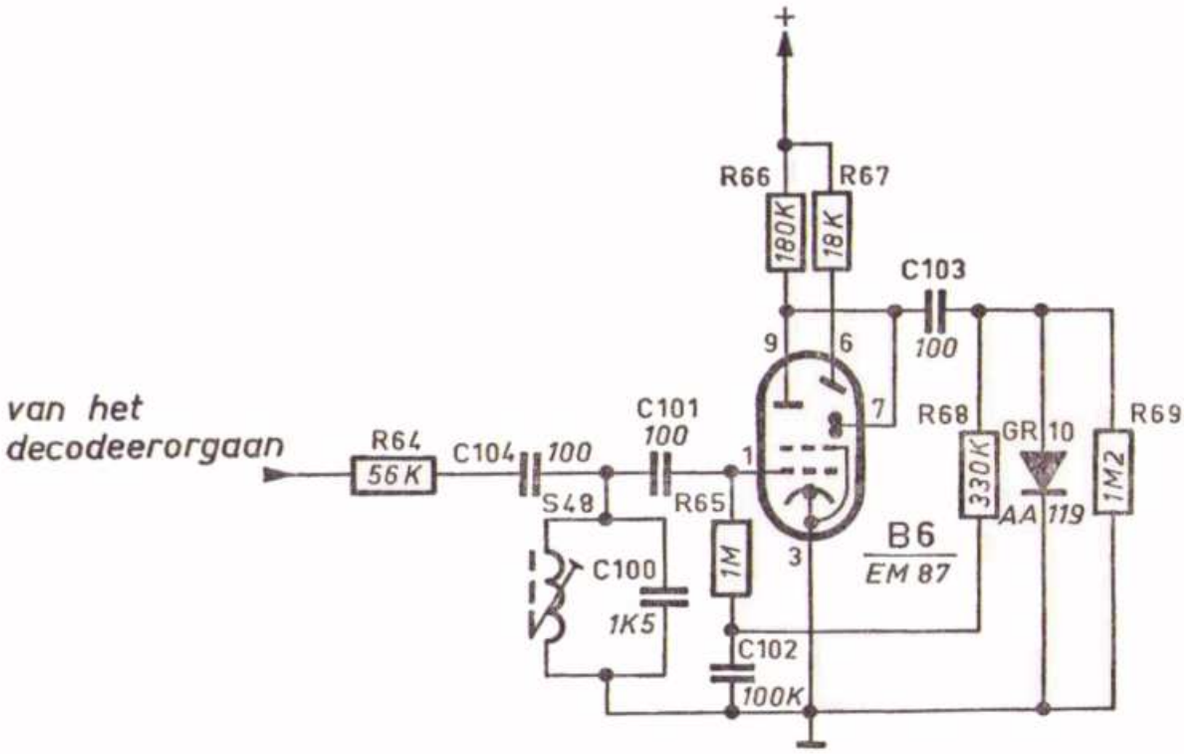


Fig. 5.9. Indicatieschakeling waarin een „afstemoog" EM 87 is toegepast.

ten doel de luisteraar een indicatie te geven dat het station waarop is afgestemd, een stereosignaal uitzendt. Voor dit doel zijn in hoofdzaak twee indicatieschakelingen ontwikkeld. In het ene geval wordt gebruik gemaakt van een type buis dat oorspronkelijk voor afstemindicatie was ontwikkeld (het afstemoog), in het andere geval gebruikt men een gloeilampje. De voorkeur voor een van beide typen kan op verschillende motieven berusten. In het algemeen zal, wanneer een ontvangertype toch al met buizen wordt uitgevoerd, een tweede indicatiebuis voor de stereo-indicatie zowel organisch als optisch goed in het ontwerp passen. Indien men daarentegen streeft naar verdere toepassing van transistors in de ontvanger, dan verdienen gloeilampjes verre de voorkeur, daar zij geen voeding nodig hebben welke afwijkt van die voor de transistors.

In fig. 5.9 is een indicatieschakeling weergegeven, waarin de indicatiebuis EM 87 is toegepast. Als stuursignaal dient hier de tot 38 kHz verdubbelde frequentie van het pilootsignaal. Dit signaal komt uit het decodeerorgaan voor schakeldetectie (zie het schema in fig. 5.4) en wordt daar van de collector van de transistor TS_2 afgetakt. Het door de spoel S_{48} en de condensator C_{100} gevormde resonantiecircuit is op 38 kHz afgestemd.

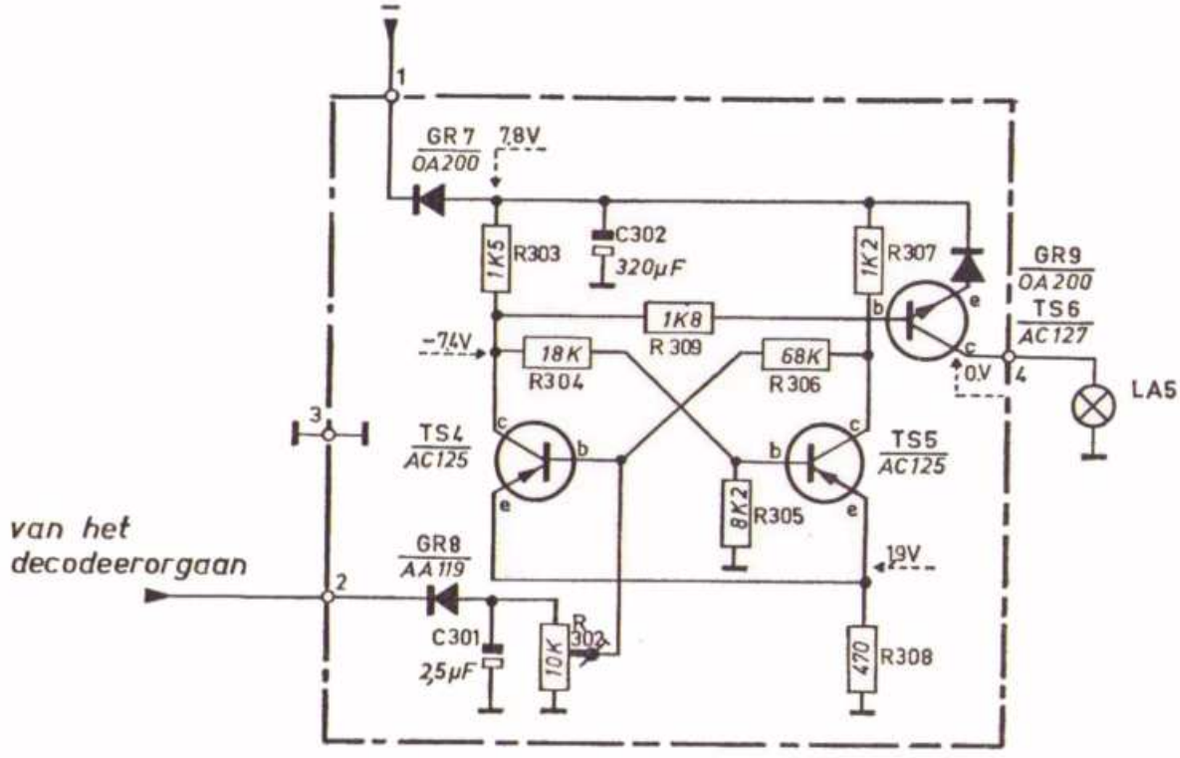


Fig. 5.10. Indicatieschakeling waarin een gloeilampje als indicator is gebruikt.

De versterkte spanning van 38 kHz wordt met behulp van de diode Gr_{10} gelijkgericht en komt dan weer aan het stuurrooster van de indicatiebuis terug, waarvan het triodesysteem tevens als gelijkspanningsversterker fungeert. De aan de anode aanwezige spanning dient voor het uitsturen van het indicatiegedeelte [44].

Fig. 5.10 geeft een indicatieschakeling te zien, waarin voor de indicatie een gloeilampje is gebruikt. Ook hier dient de tot 38 kHz verdubbelde frequentie van het pilootsignaal als stuursignaal en ook hier wordt dit verkregen uit de decodeerschakeling voor schakeldetectie welke is weergegeven in fig. 5.4. In tegenstelling tot de in fig. 5.9 gegeven indicatieschakeling, wordt hier geen resonantieversterker, maar een discriminator toegepast.

De verbinding met de transistor TS_{202} van het decodeerorgaan geschiedt via de diode Gr_8. De drempelwaarde kan met behulp van de weerstand R_{302} worden ingesteld. De transistoren TS_4 en TS_5 vormen de discriminator, welke op zijn beurt een indicatieversterker met de transistor TS_6 stuurt. In het collectorcircuit van deze transistor bevindt zich dan het indicatielampje La_5 [43].

In beide schakelingen vormt de mate waarin de indicatiebuis wordt uitgestuurd, resp. de lichtindicatie van het gloeilampje, niet alleen een aanwijzing voor de aanwezigheid van een stereosignaal. Bij zwakke uitsturing van de indicatiebuis resp. variabel oplichten van het lampje, kunnen deze verschijnselen ook een aanwijzing vormen voor een zwakke veldsterkte van de betrokken zender, met de kans op sterke storingen.

HOOFDSTUK 6

HET BEPROEVEN EN KEUREN VAN WEERGEEFAPPARATUUR VOOR LF-STEREOFONIE

Het ligt niet in de bedoeling van de schrijver het beproeven en keuren van weergeefapparatuur in alle bijzonderheden te beschrijven. Daarvoor zou de in het kader van dit boek beschikbare ruimte niet voldoende zijn, maar bovendien bestaat over dit onderwerp speciale literatuur [45]. De schrijver zal zich daarom beperken tot enkele punten, die rechtstreeks in verband met de stereofonische weergave moeten worden bezien. Dit sluit echter geenszins uit dat niet hier en daar ook op punten van algemene aard wordt ingegaan. In de afzonderlijke paragrafen van dit hoofdstuk worden achtereenvolgens platenspelers, bandopnemers, versterkers en luidsprekers behandeld.

6.1 Platenspelers

Dat de technicus zich bij het onderzoeken en keuren van platenspelers ook overtuigt van de correctheid der toerentallen, zou men eigenlijk als iets vanzelfsprekends moeten beschouwen. Toch wordt helaas aan dit punt, dat bij het spelen van stereogrammofoonplaten minstens even belangrijk is als bij monogrammofoonplaten, niet de aandacht gegeven die het verdient. „Het zal wel in orde zijn!" is de gebruikelijke gedachte waarmee velen aan dit punt voorbijgaan, om vaak later tot hun verwondering te bemerken dat in het bijzonder pianomuziek zeer onzuiver (jankend) blijkt te klinken. Toch is de controle van het toerental met behulp van de stroboscopische schijf, die meestal door de fabrikanten gratis wordt verstrekt, zo eenvoudig. In fig. 6.1 is een dergelijke stroboscopische schijf weergegeven. De afgebeelde schijf draagt voor ieder genormaliseerd toerental (de 3 snelheden 78, 45 en $33^1/_3$ toeren/min) drie uit dwarsstreepjes samengestelde cirkels, waarvan telkens de middelste voor het juiste toerental geldt en de beide aan weerszijden gelegen cirkels dienen om vast te stellen of het toerental in positieve of in negatieve zin afwijkt. De stroboscopische schijf moet met een lichtbron worden beschenen, welke een zo gering mogelijke traagheid

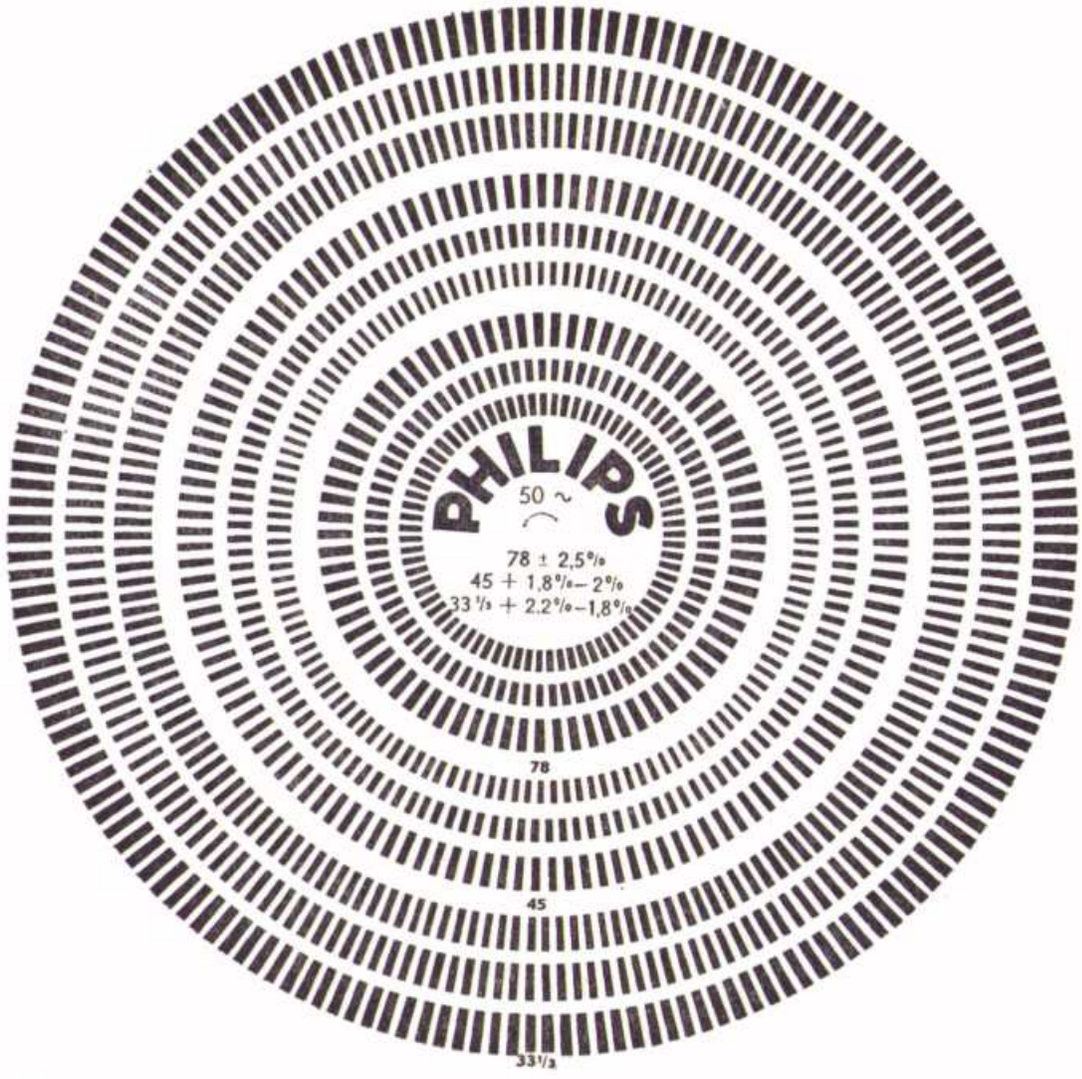


Fig. 6.1. Stroboscopische schijf voor het controleren van de draaisnelheden bij platenspelers.

heeft, zodat voor dit doel bijv. glimlampen of ook wel fluorescentielampen zeer geschikt zijn. Wanneer men niet over een dergelijk type lamp beschikt, kan ook een gewone gloeilamp worden gebruikt. Voorwaarde is echter, dat de netfrequentie (de werking van de stroboscoop berust op het met deze frequentie aan- en uitgaan van de lamp) geen noemenswaardige afwijking van de genormaliseerde waarde vertoont. Richtlijnen voor het instellen van het toerental bij de verschillende platenspelers en platenwisselaars vindt men in de bijbehorende servicehandleidingen. Een ander belangrijk onderdeel vormt de pick-up-kop. Het zal de technicus natuurlijk weinig moeite kosten versleten kristalsystemen te herkennen, die het einde van hun „levensduur" bereikt hebben. Zoals bekend zijn deze niet alleen te

herkennen aan een gebrekkige weergave, maar ook aan het relatief lage niveau van de afgegeven spanning. Dit zijn allemaal verschijnselen, die men tot op zekere hoogte op het gehoor kan waarnemen.

Ook mag, wat de pick-up-kop betreft, de aftastnaald niet onvermeld blijven [13]. Er kan niet genoeg op worden gewezen, dat in de eerste plaats de aftastnaald aan een normale slijtage blootstaat. Deze moet daarom van tijd tot tijd door een nieuwe worden vervangen. Als materiaal voor de naalden worden hoofdzakelijk saffieren en diamanten gebruikt. De vorm is steeds dezelfde, namelijk een rond staafje met een diameter van ongeveer 0,4 mm en een lengte van ca. 1 mm. Aan het einde loopt het uit in een afgeronde kegel (met een hoek van 45°), waarbij de afronding verschillend kan zijn (zie tabel 2.4) al naar gelang het type groef waarvoor de naald is gemaakt. Fig. 6.2 toont een afspeelnaald voor een microgroef in sterke

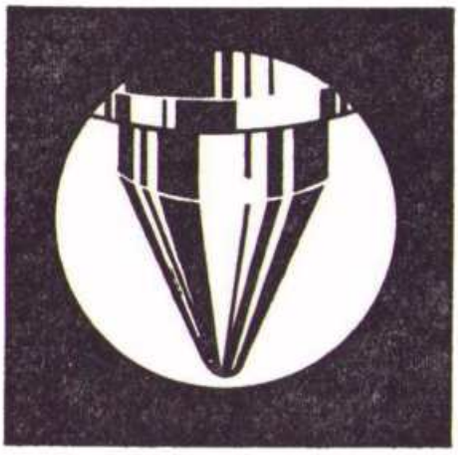


Fig. 6.2. Microgroefnaald in sterke vergroting.

vergroting. De verschillende, mogelijke standen van de aftastnaald zijn in paragraaf 2.2 aan de hand van fig. 2.13 reeds beschreven. Er bestaan velerlei varianten op de gegeven voorbeelden van afgesleten naalden. Men mag hier gerust van „groefvernielers" spreken. In fig. 6.3 is de vernielende werking van een versleten naald op de groef op sprekende wijze geïllustreerd. Bij toenemende slijtage van de naald slijten namelijk de kanten waarop de naald steunt, af. Zij veranderen in steunvlakken. De aftastnaald gaat daardoor dieper in de groef liggen en sleept daardoor over de bodem van de groef (fig. 6.3a). De randen van de afgeslepen vlakken blijven aan de wanden van de groef haken en richten, in het bijzonder op plaatsen van grote amplitudes, ernstige schade aan. In fig. 6.3b is de positie van de aftastnaald op drie verschillende punten van een geluidsgroef in bovenaanzicht gegeven.

Is een aftastnaald eenmaal op deze wijze gedeformeerd, dan verloopt het slijtageproces steeds sneller. Ook in fig. 6.4 is een aftastnaald voor microgroefplaten voorgesteld. Hier zien wij inderdaad sporen van ernstige slijtage. Deze ontstaan door een té langdurig gebruik van de naald. Een slechte, vervormde weergave en onherstelbare beschadiging van de met de naald afgespeelde grammofoonplaten zijn de onvermijdelijke gevolgen.

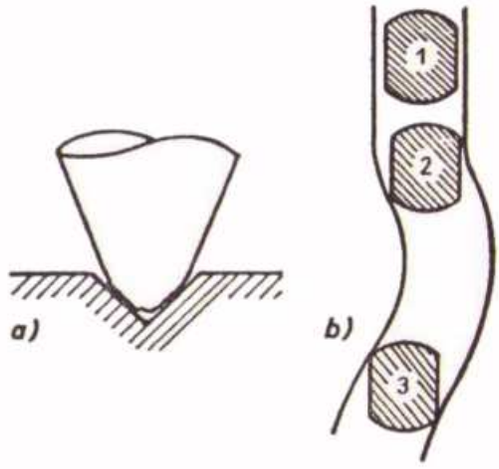


Fig. 6.3. Versleten naalden zijn groefvernielers. Bij verder afslijten van de naald zakt deze dieper in de groef en sleept over de groefbodem (a), terwijl de randen van de afgeslepen vlakken aan de groefflanken blijven haken en in het bijzonder op plaatsen van grote uitwijkingen ernstige beschadiging veroorzaken (b).

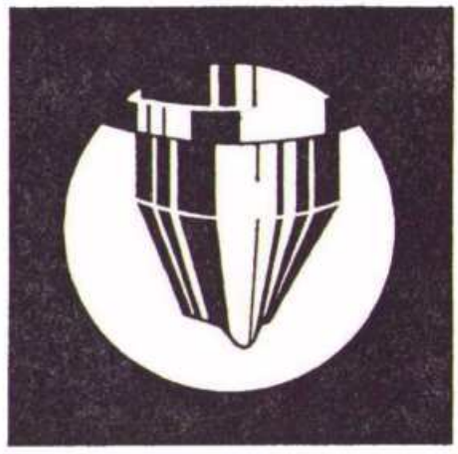


Fig. 6.4. Microgroefnaald uit fig. 6.2. in sterke vergroting, nu met duidelijke sporen van slijtage.

In de figuren 6.5a en 6.5b is, sterk vergroot, een voorbeeld gegeven van een dergelijke beschadiging van geluidsgroeven. Fig. 6.5a toont de geluidsgroeven van een nieuwe grammofoonplaat, die zelfs na vele malen te zijn afgespeeld met een goede aftastnaald, geen beschadiging vertonen. Daarnaast toont fig. 6.5b met ontstellende duidelijkheid de beschadigingen van de geluidsgroeven, die door de scherpe slijpkanten van een defecte aftastnaald worden veroorzaakt. Een op dergelijke wijze beschadigde grammofoonplaat is voor altijd bedorven. Zelfs bij gebruik van afspeel-

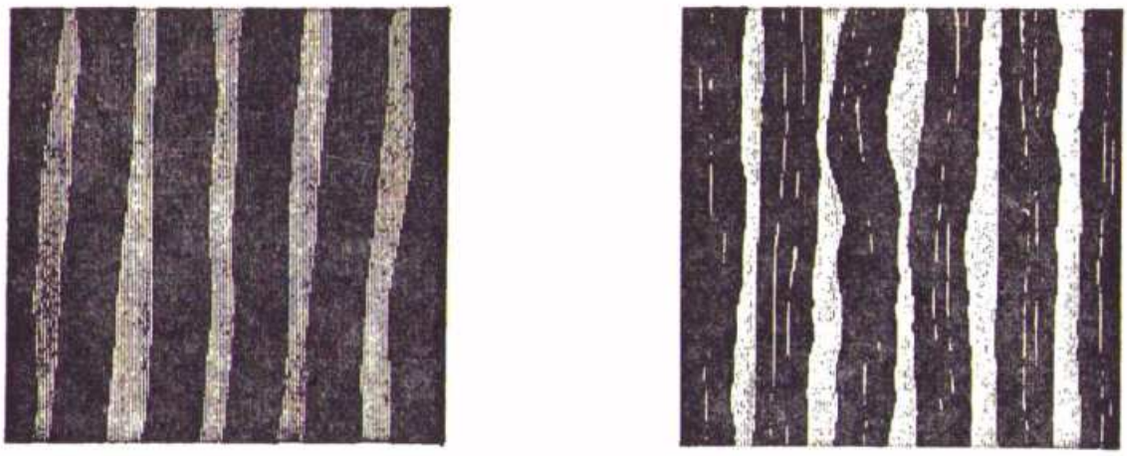


Fig. 6.5. Geluidsgroeven van een nieuwe grammofoonplaat in sterke vergroting (a) en na „behandeling" met een versleten aftastnaald (b).

apparatuur van de hoogste kwaliteit is geen zuivere weergave meer mogelijk! Helaas krijgt de technicus meestal eerst met defecte pick-up-koppen resp. aftastnaalden te maken als het al te laat is. De ondeskundige gebruiker merkt het geleidelijk slechter worden van het geluid nauwelijks of niet op. Eerst wanneer het helemaal niet meer gaat, wordt een vakman ingeschakeld. Daarom moet door een zo vroeg mogelijke, uitgebreide voorlichting de consument ertoe worden gebracht, geen versleten aftastnaalden te gebruiken.

Diepgaande onderzoekingen hebben aangetoond, dat een saffier voor microgroeven bij het afspelen van volkomen gave grammofoonplaten ongeveer 125 uren kan worden gebruikt, alvorens hij moet worden vernieuwd. Overeenkomstige onderzoekingen in de nabijheid van een fabriekshal, waarin veel scherpe stofdeeltjes in de lucht zweefden, leverden, bij overigens gelijke omstandigheden, een levensduur op van ongeveer 50 werkuren. Tegenover de saffier bezit de diamantnaald een belangrijk langere levensduur. Ook de grammofoonplaten die met een diamantnaald worden afgespeeld, blijven langer gespaard. Wanneer zij voor het overige ook zorgvuldig worden behandeld, hebben zij bij gebruik van een diamantnaald een bijna onbeperkte levensduur. De levensduur van aftastnaalden kan op grond van de van geval tot geval zeer uiteenlopende belastingen, zeer verschillend zijn. In hoofdzaak wordt hij door de volgende factoren beïnvloed:

1. Het materiaal waarvan de naald is vervaardigd; de hardere diamantnaald heeft een ongeveer 10 maal zo lange levensduur als de minder harde saffiernaald.

2. De naaldkracht; een te hoge naaldkracht versnelt het slijtageproces. Deze moet steeds worden ingesteld in overeenstemming met de voor-

schriften die in de service-handleiding van het desbetreffende apparaattype zijn gegeven. Pick-up-armen die met de hand kunnen worden ingesteld, mogen nooit „bij wijze van voorzorg" op een te hoge naaldkracht worden ingesteld.

3. De toestand van de grammofoonplaat; stoffige grammofoonplaten en platen met krassen richten de grootste schade aan. Het gevaarlijkst en tevens het moeilijkst te verwijderen is het scherpe stof van zand- en kalkkorreltjes alsook het door het afslijpen ontstane stof van de saffier. Een ietwat vochtige doek, of een doek welke speciaal voor dit doel is geprepareerd, is nog het beste voor het reinigen geschikt.

4. De pick-up-arm; aangezien deze (via de aftastnaald) door de geluidsgroef wordt „meegenomen", staat de aftastnaald bloot aan een extra zijdelingse wrijvingskracht. Hoe lichter de arm is en hoe minder wrijving er in het lager van de arm optreedt, des te geringer is deze zijdelingse wrijving in de groef.

Dit laatste punt is in het bijzonder bij de weergave van stereogrammofoonplaten van grote betekenis. Indien zich in het lager van een pick-up-arm een bepaalde, horizontaal gerichte, wrijvingskracht voordoet, zal de daardoor verhoogde naaldkracht steeds op de buitenste groefflank gericht zijn. Als gevolg hiervan kan men vervorming in het linkerkanaal verwachten [19]. Nu bestaan er bepaalde relaties tussen de naaldkracht, de compliantie, het lager van de pick-up-arm en de aftastradius, en het spreekt vanzelf dat men de kwaliteit van een installatie voor muziekweergave alleen kan beoordelen, wanneer men daarin alle genoemde factoren betrekt. Het is echter niet moeilijk om uit het bovenstaande te begrijpen dat het onzinnig is om bijv. bij een platenspeler een aftastnaald van 25 μm met een naaldkracht van 8 p te willen vervangen door een 12 μm-naald met een naaldkracht van 1 p.

Voor het onderzoeken en keuren van platenspelers maakt men ook gebruik van bepaalde meetgrammofoonplaten. Deze maken een bepaalde beoordeling van de weergavekwaliteit mogelijk. Er bestaat een helaas nog niet in de praktijk uitgevoerd voorstel [45], waarin de idee wordt geopperd een grammofoonplaat te maken met kanteelsignalen, waarmee men zowel mono- als stereoplatenspelers zou kunnen onderzoeken en keuren. Een dergelijke grammofoonplaat zou twee sporen met in fase zijnde kanteelsignalen moeten bevatten voor alle gangbare toerentallen op het genorma-

liseerde opnameniveau, maar ook kanteelsignalen in tegenfase (twee gelijke kanteelsignalen, die 180° met elkaar in fase zijn verschoven) voor de momenteel meest gebruikte toerentallen $33^1/_3$ en 45 toeren/min. Met behulp van een dergelijke testgrammofoonplaat zou men met een aanmerkelijke tijdsbesparing het gehele weergaveprocédé zeer doelmatig kunnen controleren en van een gehele reeks mogelijke afwijkingen op snelle wijze de eventuele aanwezigheid aantonen.

6.2 Bandopneemapparaten

De opneem-, weergeef- en wiskoppen van bandopnemers kan men in zekere zin met de pick-up-koppen van de platenspelers vergelijken. Als men uitgaat van een bandsnelheid van 9,5 cm/s, en men rekent dit eens om voor 100 werkuren, dan constateert men dat in deze tijd niet minder dan ruim 34 km geluidsband langs deze koppen werd getrokken. Het is niet moeilijk in te zien, dat er ondanks zo glad mogelijke afwerking van het bandoppervlak en de gladgepolijste koppen, toch een zekere slijtage optreedt, die wij niet mogen veronachtzamen. Er zet zich slijpstof af. Momenteel is voor de verzorging der koppen reinigingsband in de handel, met behulp waarvan de koppen binnen enkele minuten kunnen worden schoongemaakt. Na deze opmerkingen over het reinigen, nu dan iets over het beproeven en keuren van bandopneemapparatuur.

Voor het verrichten van metingen aan en het keuren van bandopneemapparatuur wordt gebruik gemaakt van z.g. referentiebanden [46]. Deze zijn verkrijgbaar voor de bandsnelheden 76, 38, 19 en 9,5 cm/s. Aanvankelijk waren deze uitsluitend verkrijgbaar voor de in studio's gebruikelijke bandsnelheden 76 en 38 cm/s. De nu ook in de handel zijnde uitvoeringen voor de bandsnelheden 19 en 9,5 cm/s mogen zeker niet bij de technicus ontbreken. Reeds behoren de referentiebanden bij vele serieuze geluidsbandamateurs tot de normale uitrusting. Iedere referentieband omvat vier gedeelten: een gedeelte met een testfrequentie voor het opneemniveau, een met een frequentie voor het instellen van de spleet, een voor de meting van het frequentieverloop en een blanco gedeelte. Alle registraties beslaan de volle breedte van de referentieband (z.g. volspooropname). Voor en tussen de afzonderlijke gedeelten is steeds een aankondiging opgenomen. Voor het uitvoeren van de metingen met behulp van de referentieband is het aansluiten van een buisvoltmeter of een elektronenstraaloscillograaf voldoende. Verdere gegevens bevat de grafiek in fig. 6.6.

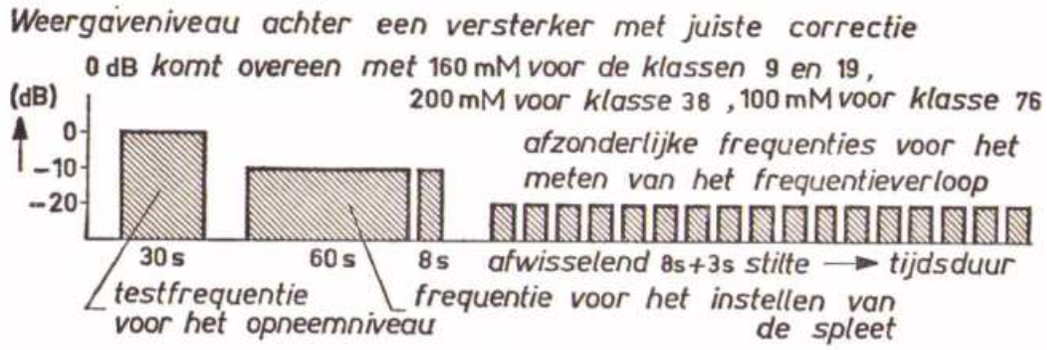


Fig. 6.6. Schema van de op referentiebanden vastgelegde testfrequenties.

In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van de afzonderlijk geregistreerde frequenties. Hierbij dient verder te worden opgemerkt, dat er ook oudere referentiebanden met voor een deel afwijkende registraties in omloop zijn. Ook valt verder op te merken, dat het goed denkbaar zou zijn dat door de betrokken fabrikanten een referentieband met kanteelsignalen werd uitgebracht in analogie met de in paragraaf 6.1 genoemde testgrammofoonplaat. Wat nu de metingen met behulp van deze referentiebanden op zichzelf betreft zijn in principe de eigenschappen van de weergeefkop van het desbetreffende bandopneemapparaat mede in de metingen betrokken.

TABEL 6.1

Geregistreerde frequenties	9,5 cm/s	19 cm/s	38 en 76 cm/s
Testfrequentie voor het instellen van de spleet	333 ± 1 Hz 10 kHz	1000 ± 3 Hz 10 kHz	1000 ± 3 Hz 10 kHz
Frequenties voor het meten van het frequentieverloop	333 Hz 333 Hz 31,5 Hz 40 Hz 63 Hz 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1 kHz 2 kHz 4 kHz 6,3 kHz 8 kHz 10 kHz 12,5 kHz 333 Hz	1 kHz 1 kHz 31,5 Hz 40 Hz 63 Hz 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1 kHz 2 kHz 4 kHz 6,3 kHz 8 kHz 10 kHz 12,5 kHz 16 kHz 1 kHz	1 kHz 1 kHz 31,5 Hz 40 Hz 63 Hz 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1 kHz 2 kHz 4 kHz 6,3 kHz 8 kHz 10 kHz 12,5 kHz 16 kHz 18 kHz 1 kHz

Tenslotte moeten immers alle onderdelen van een weergeefketen worden beproefd. Het onderzoeken en keuren van de versterkers in de bandopnemers wordt gedetailleerd in de volgende paragraaf 6.3 behandeld, daar anders van vele punten een herhaling zou worden gegeven.

6.3 Versterkers

In de laatste tijd vindt het beproeven en keuren van versterkers met behulp van kanteelsignalen, wegens de daaraan verbonden voordelen, steeds meer praktische toepassing [45, 47, 48]. Bij de controle van het frequentieverloop alsook van de stabiliteit van versterkers, wordt hierdoor een aanzienlijke tijdsbesparing bereikt. Tijdens een enkele arbeidsfase wordt een groot aantal metingen tegelijkertijd verricht. De situatie lijkt op die bij het wobbelen van HF-versterkers, waarbij het effect van het bijregelen van alle afwijkingsverschijnselen onmiddellijk kan worden beoordeeld. Op dezelfde wijze is het mogelijk om met behulp van kanteelsignalen veelomvattende, karakteristieke kenmerken van de overdrachtseigenschappen van actieve zowel als van passieve vierpolen te verkrijgen.

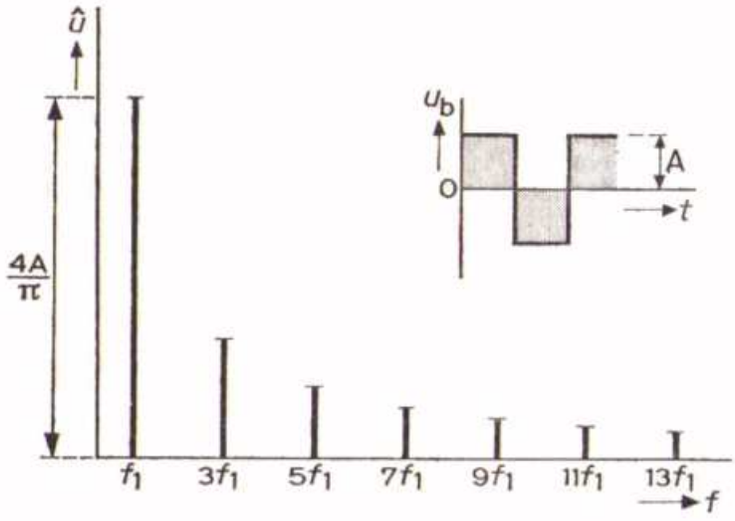


Fig. 6.7. Analyse van een symmetrisch kanteelsignaal; de oneven harmonischen zijn in amplitude omgekeerd evenredig met hun frequentie.

Voor het trekken van de juiste conclusies uit de keuringsresultaten is het bijzonder belangrijk dat men nauwkeurig op de hoogte is met de noodzakelijke resp. toelaatbare vervorming van een kanteelsignaal bij het doorlopen van het te beproeven object. Zeker zal het in het LF-gebied niet mogelijk zijn, een volkomen onvervormd kanteelsignaal te verkrijgen, aangezien de bandbreedte, die door LF-versterkers kan worden overgedragen, daarvoor te gering is. Daarom moet men de vervormingsverschijnselen en hun wetmatigheden leren kennen [45].

Heel in het kort kan worden vastgesteld, dat de mathematische analyse van een symmetrisch kanteelsignaal toont, dat dit bestaat uit een sinusvormige spanning met de basisfrequentie f_1 en een aantal sinusvormige componenten van de frequenties $3f_1$, $5f_1$, $7f_1$, . . . enz. De amplitudes van deze oneven harmonischen zijn omgekeerd evenredig met hun frequentie, zoals fig. 6.7 laat zien [48].

Zoals reeds eerder werd aangehaald, treden in LF-versterkers steeds vervormingen van de toegevoerde kanteelsignalen op, hetgeen verschillende oorzaken kan hebben. De afzonderlijke grafieken in fig. 6.8 tonen enige

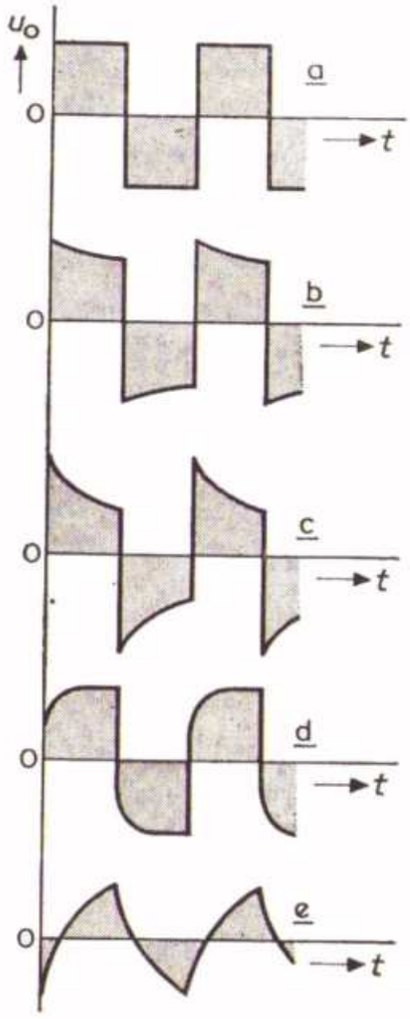


Fig. 6.8. Verschillende typen vervorming van het symmetrische kanteelsignaal bij het beproeven van een versterker. De verschillende verschijnselen zijn in de tekst toegelicht.

karakteristieke vervormingen, die in het navolgende verder zullen worden toegelicht [48]. Indien een kanteelsignaal zonder zichtbare vervorming aan de uitgang van een schakeling wordt weergegeven (zie fig. 6.8a), mag men gerust aannemen, dat ook sinusvormige signalen met frequenties tot het 10- of 20-voudige van de frequentie van het kanteelsignaal geen noemenswaardige amplitude- en fasevervormingen ondergaan.

Indien de bovenkant van het kanteelsignaal een vervorming vertoont in de gedaante van een schuin verloop, waarbij dan de steilheid van de flanken onveranderd blijft, wijst dit op een gebrekkige overdracht van de lagere frequenties. Ontstaat een verloop van de kromme ongeveer overeenkomstig fig. 6.8b, dan betekent dit amplitudeverzwakking en fase-afwijkingen voor zowel de grondgolf van het ingestelde kanteelsignaal als voor de lagere harmonischen. Een vervorming zoals is weergegeven in fig. 6.8c, duidt op dezelfde gebreken als die van fig. 6.8b maar hier nog in versterkte mate. Het schuine verloop van de bovenkanten wordt in hoofdzaak veroorzaakt door de koppel- en ontkoppelcondensatoren in de onderzochte versterker. Worden daarentegen de flanken van het kanteelsignaal vervormd weergegeven, terwijl de bovenkanten de normale vorm bezitten, dan is er sprake van een afwijking met betrekking tot de hoge frequenties. Verkrijgt men aan de uitgang van de te beproeven versterker bijv. een verloop als in fig. 6.8d, dan is er sprake van een afnemende spanningsversterking voor de hogere harmonischen van het ingestelde kanteelsignaal, waarbij voor deze componenten ook nog fase-afwijkingen optreden. Bij een uitgangssignaal overeenkomstig fig. 6.8e treden deze verschijnselen nog sterker aan de dag. De vervorming van de flanken wordt voornamelijk veroorzaakt door de ingangs- en uitgangscapaciteiten van de gebruikte elektronenbuizen of transistors alsook door de verschillende in de bedrading aanwezige capaciteiten.

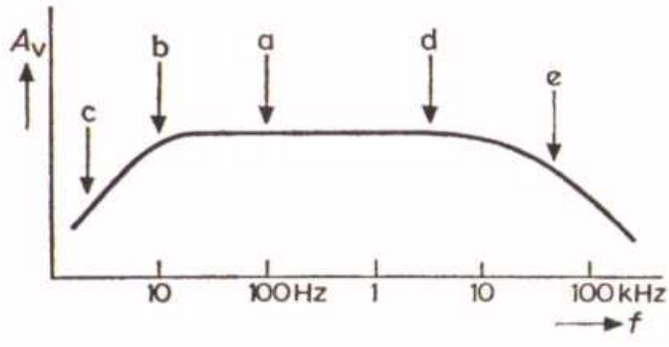


Fig. 6.9. Frequentiekarakteristiek van een versterker waarin de verschillende vervormingen van het kanteelsignaal uit fig. 6.8 voorkomen.

De frequentiekarakteristiek van een versterker waarin alle in de grafieken van fig. 6.8 vastgelegde vervormingen zich voordoen, geeft, zoals fig. 6.9 laat zien, hiervan een zeer duidelijk beeld [48]. Als men aan deze *RC*-gekoppelde versterker kanteelsignalen toevoert met de door de pijlen aangeduide frequenties, dan worden aan de versterkeruitgang- signalen verkregen die in vorm overeenkomen met de door dezelfde letters aangeduide

figuren in fig. 6.8. Men kan dus op deze wijze zeer snel een globale indruk van de amplitude- en fasegetrouwheid van een versterker verkrijgen. Om in de praktijk met behulp van een kanteelspanningsgenerator de laagste grensfrequentie van een versterker met voldoende nauwkeurigheid vast te stellen, gaat men als volgt te werk [45]. Men varieert de frequenties van het kanteelsignaal zolang tot de beginpunten van de impulsen bij benadering in een rechte lijn liggen en leest dan de instelling van de generator af. Deze werkwijze kan men toepassen bij niet al te sterk gecompenseerde LF-versterkers. Bij versterkers met een sterk gecorrigeerde frequentiekarakteristiek is het doelmatig de instelling voor de lage en hoge frequenties eerst in de normale stand te brengen. Indien de gemeten laagste grensfrequentie te hoog ligt, moeten bijv. alle *CR*- en *RC*-leden worden gecontroleerd, zoals:

- roostercondensatoren;
- katodecondensatoren;
- roosterlekweerstanden en koppelcondensatoren;
- het verschuiven van het werkpunt van een buis (veroorzaakt door een defecte roosterlekweerstand of door een verminderd vacuüm van de buis) kan de oorzaak zijn van het ontbreken van lage frequenties;
- een sluiting met hoge overgangsweerstand tussen windingen van de uitgangstransformator kan eveneens genoemde gevolgen hebben;
- frequentiebepalende onderdelen van tegenkoppelingscircuits hebben eveneens invloed op de laagste grensfrequentie.

Indien men alle eigenschappen van een weergeefketen gezamenlijk wil meten, kan men het beste het signaal bijv. aan de ingang van de versterker toevoeren en vervolgens op een oscillograaf de spanningsval zichtbaar maken, die ontstaat over een laagohmige weerstand van ongeveer 0,5 tot 1 Ω, welke met de spreekspoel van de luidspreker in serie is geschakeld. Op deze wijze wordt de stroom door de spreekspoel gecontroleerd. Zoals bekend zijn stroom en spanning door de spreekspoel niet over het gehele weergavegebied in fase. Bij dynamische luidsprekers vindt echter de energieomzetting plaats evenredig met de stroom. Teneinde te voorkomen dat de gebruikte elektronenstraaloscillograaf zelf nog bepaalde vervormingen van de bovenkant aan het kanteelsignaal toevoegt, is in het bijzonder voor het lage gedeelte van het LF-gebied aan te bevelen een oscillograaf met een gelijkspanningsversterker te gebruiken.

Voor het bepalen van de bovenste grensfrequentie van een versterker met behulp van een kanteelspanningsgenerator kan men als volgt te werk gaan [45]. Een kanteelsignaal met een herhalingsfrequentie van ongeveer 2 . . . 3 kHz wordt toegevoerd aan een versterkeringang. Bij een te verwachten bovenste grensfrequentie van 10 . . . 15 kHz bedraagt de frequentieverhouding dus ongeveer $^1/_5$ (benaderingswaarde). Bij een dergelijke verhouding wordt het kanteelsignaal nog niet geïntegreerd. De spanningshoogte op het beeldscherm van de gebruikte oscillograaf wordt van top tot top vastgesteld en indien nodig, met behulp van de regelaar voor de verticale instelling van de oscillograaf op een bepaalde waarde ingesteld. Op deze wijze wordt de frequentie van de kanteelspanning uit de generator (waarbij een symmetrisch kanteelsignaal een absolute voorwaarde is) zolang verhoogd, tot het beeld op de oscillograaf (top – top) ten opzichte van de oorspronkelijke instelling tot 51,8% (dus praktisch tot de helft) is gekrompen. Natuurlijk mag de uitgangsspanning van de kanteelspanningsgenerator niet met de frequentie veranderen, hetgeen ook niet het geval is wanneer men gebruik maakt van de kanteelspanningsgeneratoren GM 2314 resp. GM 2324. Als een versterker de genoemde waarden niet bereikt, zijn niet genoeg hoge frequenties aanwezig. De volgende onderdelen moeten dan worden gecontroleerd:

- belastingsweerstanden van versterkertrappen met penthoden ten aanzien van mogelijke vergroting van de weerstandswaarde.
- LF-blokkeerweerstanden in de LF-weg van de demodulator ten aanzien van verhoging der weerstandswaarde.
- *RC*-leden in het terugkoppelingsnetwerk.
- versterkertrioden ten aanzien van veroudering; de inwendige weerstand neemt toe bij verouderde trioden.
- uitgangstransformator ten aanzien van vergroting van het strooiveld.
- versterkeruitgang op foutieve aanpassing.

Al dergelijke onderzoekingen kan men natuurlijk ook trap voor trap uitvoeren. Dit is altijd aan te bevelen in die gevallen waarin afwijkingen in een bepaald gedeelte van de weergeefapparatuur worden geconstateerd, welke men verder wil lokaliseren. Daarbij beschikt men over twee mogelijkheden. De ene mogelijkheid is, dat men een voor het doel geschikt kanteelsignaal aan de ingang van de versterker toevoert en met de meetkop van de oscillograaf trap voor trap aftast, terwijl bij de andere methode de

oscillograaf met de uitgang van de versterker wordt verbonden en het kanteelsignaal achtereenvolgens aan de afzonderlijke versterkertrappen wordt toegevoerd.

Onmisbaar is ook een kanteelspanningsgenerator bij het controleren van de stabiliteit van gecompenseerde LF-versterkers en andere actieve vierpolen resp. versterkers met LF-transformatoren [45]. De plotselinge energiesprong van het kanteelsignaal exciteert in meer of mindere mate eventueel aanwezige gedempte trillingsketens in de te onderzoeken apparatuur, zodat hierin gedempte trillingen ontstaan. Dit verschijnsel wordt doorschieten genoemd. Zou men dergelijke versterkers met behulp van sinusvormige trillingen onderzoeken, dan zou zich een dergelijke neiging tot oscilleren niet voordoen. Men zou dan dergelijke versterkers in eerste instantie volkomen in orde bevinden. Eerst bij bijv. het reproduceren van pianomuziek zou men noodgedwongen moeten vaststellen dat de weergave toch geenszins onberispelijk kan worden genoemd. In zulke gevallen is dus het opsporen van afwijkingen met behulp van sinusvormige meetsignalen of met een vervormingsmeter niets anders dan tijdverspilling. Het heeft dan veel meer zin de apparaten te onderzoeken ten aanzien van hun gedrag bij het versterken van impulsvormige spanningen. In het bijzonder kunnen in versterkers, die met LF-transformatoren zijn uitgerust of waarin een aantal tegenkoppelingsschakelingen zijn toegepast, alsook in eindtrappen waarin zich meekoppelingsverschijnselen voordoen, gemakkelijk verschillende vormen van onstabiliteit optreden. Dit is in het bijzonder het geval, wanneer dempingsweerstanden van waarde zijn veranderd. Soms zijn versterkers ook toegerust met een aantal tegenkoppelingsschakelingen, die dan bij verschillende frequentiegebieden behoren. Een dergelijke tegenkoppelingsschakeling kan bij verandering van zijn overdrachtskarakteristiek voor het bijbehorende resp. aangrenzende frequentiegebied meekoppelingsverschijnselen teweegbrengen. In al zulke gevallen kan alleen het gebruik van kanteelsignalen bij het onderzoek de vereiste informatie geven.

Bij stereoversterkers gaat het steeds om twee gelijke versterkers. Deze hebben tot taak de aan hun ingang toegevoerde frequenties amplitude- en fasegetrouw te versterken [45]. De bedieningsorganen zijn paarsgewijze met elkaar gekoppeld. Zo worden in ieder kanaal dezelfde veranderingen in de overdrachtseigenschappen bewerkstelligd. Daar komt dan nog de balansregelaar bij, met behulp waarvan de versterking in de beide kanalen op hetzelfde niveau wordt gebracht. Ook hier geldt de aanbeveling voor het meten kanteelsignalen te gebruiken. De eenvoudigste methode is die,

waarbij de kanteelspanningsgenerator afwisselend op de beide versterkeringangen wordt geschakeld. Wanneer men een dergelijke meting niet te dikwijls behoeft uit te voeren, is deze methode goed te gebruiken. Bij veelvuldig voorkomen van de meting is het beter bepaalde hulpmiddelen te gebruiken. Fig. 6.10 toont twee schakelingen van hulpsnoeren. Met het ingangssnoer kan het kanteelsignaal tegelijkertijd aan de beide versterkeringangen worden toegevoerd. Het ingangsadapter bestaat in hoofdzaak

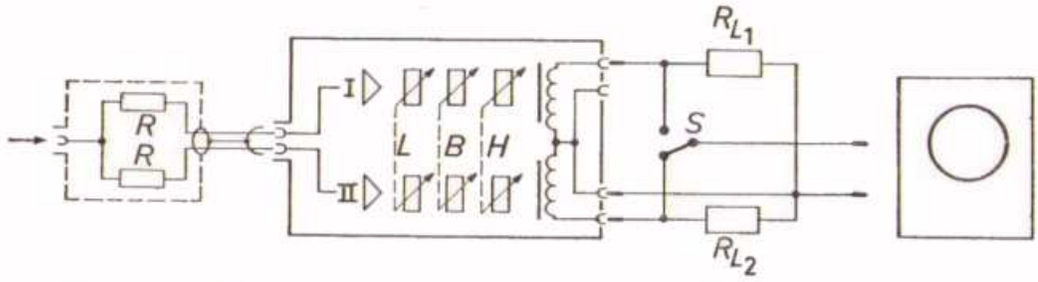


Fig. 6.10. Twee schakelingen voor hulpsnoeren voor het meten van versterkers.

uit een bus, die via een kabel met de kanteelspanningsgenerator is verbonden en aan de uitgang is voorzien van de bekende vijfpolige contactstop. Het middencontact van de bus is via twee gelijke weerstanden in de orde van grootte van 10 . . . 100 kΩ met de overeenkomstige contactpennen verbonden. De grootte van de weerstanden hangt af van de gewenste ontkoppelingsfactor. In de meeste gevallen zijn de versterkeruitgangen zodanig uitgevoerd, dat eventueel aanwezige ingebouwde luidsprekers automatisch kunnen worden uitgeschakeld. Deze omstandigheid kan worden benut voor de vervaardiging van een uitgangsadapter, dat naast de beide contactstoppen nog een enkelpolige omschakelaar *S* en twee weerstanden bevat. De beide weerstanden zijn even groot en dienen ter vervanging van de afsluitingsimpedantie van de ingebouwde luidspreker. De omschakelaar *S* maakt het mogelijk om de uitgangssignalen van de beide kanalen op de ingang van de oscillograaf te schakelen. Door naar believen om te schakelen tussen beide kanalen kunnen de uitgangssignalen hiervan op deze wijze gemakkelijk met elkaar worden vergeleken.

Het is duidelijk dat de meetmethoden die geschikt zijn voor het onderzoeken van versterkers, zonder meer ook voor bandopneemapparatuur kunnen worden gebruikt. Daarnaast zijn er nog meer toepassingsmogelijkheden voor kanteelsignalen [45]. De bandbreedte van het weergeefkanaal en in het bijzonder de bovenste grensfrequentie vormen punten die bij

bandopneemapparatuur een veel grotere problematiek opwerpen. De niet-lineaire frequentiekarakteristieken waarmee men te doen heeft bij het procédé van de magnetische geluidsregistratie, vereisen een zeer uiteenlopende en aanzienlijk gecorrigeerde pre-emfase en de-emfase bij het opname- resp. weergaveprocédé.

Op grond van de speciale voorzieningen in de schakeling vertonen dergelijke versterkerkanalen bij het meten met kanteelsignalen een sterke neiging tot doorschieten. Daar de bereikbare bovenste grensfrequentie bij de afzonderlijke bandsnelheden verschillend is, moet bij bandopneemapparaten met meer dan één snelheid de meting natuurlijk ook in alle standen van het omschakelmechanisme worden verricht, omdat hierbij ook telkens correctieschakelingen worden omgeschakeld.

Het frequentieverloop van bijv. de opneemversterker van een kanaal kan voor een of meer bandsnelheden gemakkelijk met behulp van kanteelsignalen worden onderzocht en met dat van het andere kanaal worden vergeleken. Hiertoe wordt aan de ingang een kanteelsignaal, bijv. van 1 kHz, toegevoerd en het oscillogram van de opneemstroom of -spanning bekeken. De opneemstroom kan op een oscillograaf zichtbaar worden gemaakt via een kleine weerstand, bijv. 100 Ω, welke in de z.g. „koude draad" van de opneem- of de opneem-weergeefkop wordt geschakeld. In een groot aantal bandopnemers is een dergelijke, speciaal voor meetdoeleinden bestemde, weerstand reeds in de schakeling opgenomen. Bij apparaten met laagohmige voeding van de opneemkop kan de spanning, daar deze hierbij veel groter is, rechtstreeks van de kop worden afgenomen. Dat is vooral bij getransistoriseerde bandopneemapparaten een gunstige omstandigheid. Aan de hand van het oscillogram dat duidelijk de kenmerken van het doorschieten vertoont, kunnen zowel de orde van het pre-emfase-netwerk als de frequentie waarbij de pre-emfase maximaal is, worden bepaald. Het doorschieten geeft een bepaalde indicatie ten aanzien van de orde van het pre-emfase-netwerk. De resonantiefrequentie kan worden verkregen uit de vergelijking van de duur der perioden.

Voor het meten van de vervormingsfactor in de weergavekarakteristiek kan men het beste gebruik maken van een geluidsband waarop kanteelsignalen met een passende frequentie zijn opgenomen. Een dergelijke band vormt een zeer waardevolle aanvulling op de referentiebanden, waarop verschillende sinusvormige signalen zijn geregistreerd (zie par. 6.2). Zolang zulke banden niet door de industrie in de handel worden gebracht, blijft de technicus niets anders over dan ze zelf te vervaardigen.

6.4 Luidsprekers

Reeds in een der voorafgaande hoofdstukken (zie par. 2.3) werd door de schrijver het feit aangehaald, dat luidsprekers in het algemeen door de technicus als een onveranderlijke factor in het geheel van de weergeefapparatuur moeten worden geaccepteerd. Bepaalde storingen, als beschadigde membranen of verontreiniging van de luchtspleten, zijn echter voor de technicus gemakkelijk te herkennen.

Verontreinigde luchtspleten van dynamische luidsprekers kunnen op eenvoudige wijze worden schoongemaakt. Men maakt uit een stuk dynamoblik van geringe dikte een strip van ongeveer 5 mm breed en van passende lengte. Met deze strip strijkt men door de luchtspleet. De hierin aanwezige ijzerdeeltjes (waaruit meestal de verontreiniging bestaat) blijven aan de strip hangen en kunnen hierdoor gemakkelijk uit de luchtspleet worden verwijderd. Op voldoende afstand van de luidspreker kunnen zij dan van de strip worden geveegd. Nadat men dit enige malen heeft herhaald, is al spoedig ook het laatste ijzerdeeltje uit de spleet verdwenen. Eventueel nog aanwezig stof kan uit de spleet worden geblazen. Het dynamoblik heeft een grote permeabiliteit, zodoende hechten de in de luchtspleet magnetisch geworden ijzerdeeltjes zich aan de strip vast.

Een belangrijk punt bij Hi-Fi en stereo-weergeefinstallaties is de aansluiting van de luidsprekers in de juiste fase. Het is zeer belangrijk dat luidsprekers die op dezelfde installatie zijn aangesloten, in fase met elkaar trillen. Men voorkomt veel teleurstelling door eens en voor altijd de luidsprekers die tot eenzelfde weergeefinstallatie behoren, op hun juiste aansluiting te toetsen. Dit kan geschieden met behulp van een gelijkstroombron met een lage spanning, bijv. een zaklantaarnbatterij. Bij het aansluiten van de gelijkspanning op de luidsprekers bewegen de membranen zich één keer in een bepaalde richting om vervolgens in de aangenomen stand te blijven staan. Men behoeft er nu alleen op te letten, dat alle luidsprekers telkens dezelfde beweging naar buiten of, als het zo uitkomt, naar binnen maken. Het is daarbij van belang om de aansluitingen van de luidsprekers te merken, voor welk doel de tegenwoordig zeer in zwang zijnde viltstiften zich uitstekend lenen.

HOOFDSTUK 7

HET BEPROEVEN EN KEUREN VAN DECODEERORGANEN VOOR HF-STEREOFONIE

Evenals bij de behandeling in hoofdstuk 6 van het beproeven en meten van weergeefapparatuur voor LF-stereofonie, moet ook met betrekking tot het beproeven van decodeerorganen voor HF-stereofonie in het kader van dit boek worden volstaan met het geven van enige aanwijzingen. Bij alle werkzaamheden aan weergeefapparatuur voor HF- én LF-stereofonie is het zonder meer mogelijk een bepaalde scheiding tussen het HF- en het LF-gedeelte aan te houden. Moeilijker is het daarentegen een dergelijke gescheiden behandeling te realiseren, bijv. in een radio-ontvanger, tussen het ontvanggedeelte dat zowel voor de mono- als voor de stereo-ontvangst dient en de gedeelten die uitsluitend bij de stereo-ontvangst functioneren. Het is namelijk niet mogelijk het decodeerorgaan uit de ontvanger te nemen en het afzonderlijk te onderzoeken. Zou men dit tóch willen doen, dan zou een onderzoek van het decodeerorgaan heel goed kunnen aantonen, dat dit volkomen in orde en voor zijn taak berekend is, terwijl hiermee toch niet zou vaststaan, dat men hierna verzekerd is van een goede stereo-ontvangst. Zelfs niet als de mono-ontvangst volkomen goed functioneert. Uit deze overweging leert men, dat ook datgene wat aan het decodeerorgaan wordt „aangeboden" een bepaalde rol speelt t.a.v. een goede stereo-ontvangst.

Dit „aanbod" begint reeds bij de antenne! Toen namelijk de „Südwestfunk", een van de omroeporganisaties in de Duitse Bondsrepubliek, haar eerste stereofonische muziekprogramma uitzond, ontving zij hierop veel reacties [50]. Ofschoon de luisteraars zonder uitzondering hun dank voor de uitzending uitspraken, berichtte daarbij een zeer hoog percentage van de briefschrijvers dat de stereo-ontvangst gepaard was gegaan met een sterke ruis, welke bij monoweergave niet hoorbaar was. Metingen die daarna op dit punt in het laboratorium van genoemde omroeporganisatie werden verricht, leverden het resultaat op dat de ontvangers, op enkele uitzonderingen na, bij stereo-ontvangst een nuttige spanning van 100 tot 300 μV op 240 Ω nodig hadden. Hiertegenover staat dat bij mono-ontvangst de benodigde spanning slechts enkele μV bedraagt. Dit werd later verklaard

door de bijzondere topografische geaardheid van het zendgebied. In een vlakke landstreek, waar de omstandigheden voor de voortplanting van de radiogolven veel gunstiger zijn, worden zeer gemakkelijk hoge veldsterkten bereikt. Natuurlijk moet hierbij niet worden vergeten, dat stereofonische radio-overdracht in principe reeds een verliesfactor heeft, welke ca. 20 dB bedraagt.

Men mag als zeker aannemen, dat bij het ontwerpen van toekomstige ontvangertypen met deze omstandigheid rekening zal worden gehouden. Het is echter ook even zeker, dat zelfs de kostbaarste uitrusting van de ontvanger geen compensatie kan vormen voor datgene wat met betrekking tot de antenne wordt verzuimd. Vrienden van de HF-stereofonie zowel als op dit gebied werkzame technici moeten zich met de gedachte vertrouwd maken, dat de z.g. hulpdipool binnenshuis bij stereo-ontvangst niet meer voldoende is. Men mag in geen geval enerzijds bij de aanschaffing van stereo-apparatuur „alleen het beste goed genoeg" vinden, om anderzijds plotseling op de antenne te willen bezuinigen. Er zou ook niemand op de gedachte komen om eventueel op de elektro-installatie te bezuinigen, om vervolgens genoegen te moeten nemen met een 10 of 20% te lage spanning. Ook ten aanzien van de antenne gelden oorzaak en gevolg. Echter mag in dit verband niet onvermeld blijven dat de in de vorige alinea genoemde waarden waarschijnlijk reeds in de nabije toekomst zullen worden verbeterd.

Zoals gewoonlijk zal men ook bij het beproeven van stereo-decodeerorganen systematisch te werk gaan. Men zal zodoende de signaalstroom controleren en afwijkingen van van te voren gegeven waarden vaststellen. Hiertoe behoort natuurlijk ook de meting van vereiste spanningen. Daarmee zijn we echter met het beproeven van een decodeerorgaan nog lang niet aan het einde.

De eindconclusie wordt eerst verkregen door het onderzoek met behulp van een volledig stereosignaal. Zo is ook de instelling van de overspraakcompensatie (zie de par. 5.1, 5.2 en 5.3) alleen onder die voorwaarden en dan ook nog ín het apparaat mogelijk, waarin het decodeerorgaan moet functioneren. De reden hiervan is daarin gelegen, dat de eigenschappen van de MF-versterker in bijzondere mate van invloed zijn bij deze instelling. Voorwaarde voor dit alles is, dat men ook over een stereogenerator bebeschikt, welke een volledig stereosignaal levert (zie par. 8.2). Dikwijls is het echter zo, dat men niet of nog niet over een dergelijke generator beschikt. In zulke gevallen kan men gebruik maken van proefsignalen, die door de verschillende radiozenders worden uitgezonden [51]. De

volgorde en samenstelling der signalen is bij de afzonderlijke omroeporganisaties verschillend, zodat het indien nodig (zelfs wanneer men beschikt over een stereogenerator kan in verband met servicewerkzaamheden in de woning van een klant hieraan behoefte ontstaan) is aan te bevelen, de definitieve gegevens bij de plaatselijk bevoegde omroeporganisatie aan te vragen. In tabel 7.1 zijn bij wijze van voorbeeld de stereoproefsignalen opgenomen, die door de Noordduitse resp. de Westduitse omroep worden uitgezonden. Signaal no. 1 dient voor het instellen van de verschillende trillingsketens in de decodeerorganen. De overige signalen kunnen op dezelfde wijze worden gebruikt als de signalen van een stereogenerator.

TABEL 7.1

Nr.	Signaal, niveau		Duur (min)	Gebruik
	L	R		
1	aankondiging in beide kanalen, daarna in het linker- en in het rechterkanaal gelijktijdig een toon van 1 kHz in tegenfase (verschilsignaal), zwaai ± 38 kHz		2	het instellen van de resonantiecircuits voor het pilootsignaal, de hulpdraaggolf en het verschilsignaal
2	aankondiging, daarna een toon van 1 kHz, zwaai ± 38 kHz	geen signaal	1	het instellen van het overspreken voor lage frequenties in het rechterkanaal
3	geen signaal	aankondiging, daarna een toon van 1 kHz, zwaai ± 38 kHz	1	het instellen van het overspreken voor lage frequenties in het linkerkanaal
4	aankondiging, daarna een toon van 5 kHz, zwaai ± 38 kHz	geen signaal	1	het instellen van het overspreken voor hoge frequenties in het rechterkanaal
5	geen signaal	aankondiging, daarna een toon van 5 kHz, zwaai ± 38 kHz	1	het instellen van het overspreken voor hoge frequenties in het linkerkanaal

Ter controle van de juiste aansluiting der luidsprekers (niet te verwisselen met de in par. 6.4 beschreven controle der polariteit i.v.m. de aansluiting van de luidsprekers in de juiste fase) alsmede voor het instellen van de balans, worden als aanvulling nog de signalen uitgezonden van twee metronomen met verschillende slagsnelheid.

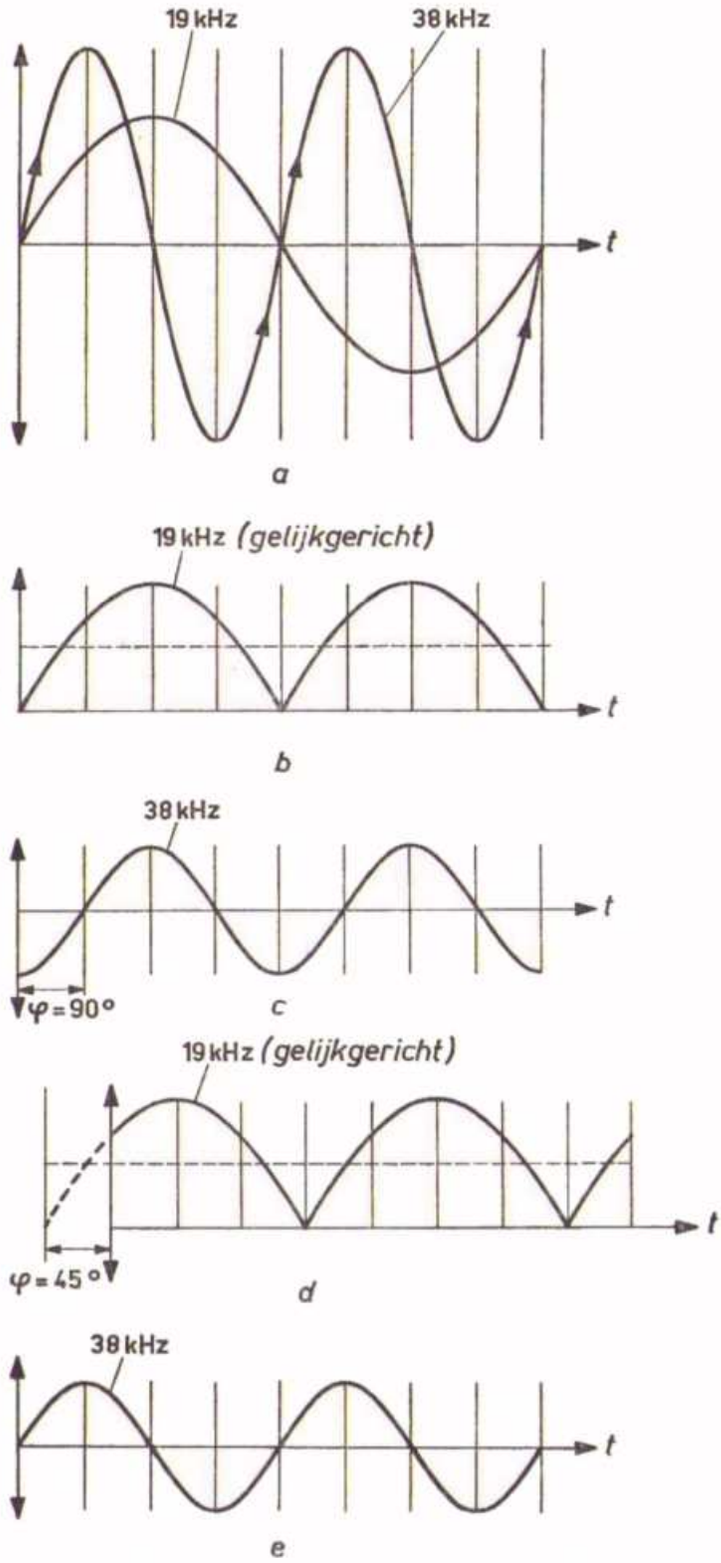


Fig. 7.1. Het principe waarop het decodeerorgaan met schakeldetectie berust, vereist een fasedraaiing van het pilootsignaal over 45°. De afzonderlijke grafieken zijn in de tekst nader toegelicht.

Dan nu enige opmerkingen met betrekking tot de achtereenvolgende controle van de signalen en het instellen van het in par. 5.1 beschreven decodeerorgaan [40]. Een correcte werking van de schakeldioden alsmede een zo goed mogelijke overspraakcompensatie zijn bepalend voor het foutloos functioneren van het decodeerorgaan. Voorwaarde hiervoor is een nauwkeurig uitzeven van het pilootsignaal en de in amplitude en fase juiste versterking en verdubbeling hiervan. Na de controle van de gelijkstroomwerkpunten moet men daarom met behulp van een elektronenstraaloscillograaf de controle van de signalen bij het pilootsignaal beginnen. Een bepaald criterium is reeds in de stereo-indicatie (zie par. 5.4) waar te nemen.

In overeenstemming met de signaalamplitude van de stereogenerator zal tussen de ingang van de transistor TS_{201} en de uitgang van de transistor TS_{202} (zie fig. 5.4) een bepaalde amplitude gemeten worden. De juiste waarde is het best vast te stellen door vergelijking met een correct ingesteld decodeerorgaan (voorzover beschikbaar) of is bij enige geoefendheid op dit punt wel bekend. Alle resonantiecircuits worden ingesteld op hun maximale kringspanning. De fase van het pilootsignaal van 19 kHz wordt door de condensator C_{202} zodanig gewijzigd, dat deze aan de ingang van de transistor TS_{201} ongeveer 45° vóórijlt.

De noodzaak van deze fasedraaiing wordt verduidelijkt door fig. 7.1. Fig. 7.1a toont de positie van het 19-kHz-pilootsignaal in de zender ten opzichte van de schakelspanning van 38 kHz, ofwel de onderdrukte draaggolf. Bij de nuldoorgang van het pilootsignaal vindt tegelijkertijd ook een nuldoorgang plaats van de spanning van 38 kHz van het negatieve gebied naar het positieve gebied. In fig. 7.1b is de frequentieverdubbeling te zien van het pilootsignaal van 19 kHz tot 38 kHz na dubbelfasige gelijkrichting. De daaruit ontstane pulserende gelijkspanning bevat als component een wisselspanning die om een nullijn (in de figuur met een stippellijn weergegeven) heen en weer zwaait. Deze wisselspanning, die nu de dubbele frequentie van het pilootsignaal heeft, is niet sinusvormig. De zuivere sinusvormige grondgolf kan echter uit het verkregen signaal worden gezeefd. Zoals fig. 7.1c aantoont, komen de negatieve en positieve maximale waarden van de uitgezeefde sinusvormige spanning van 38 kHz met de maxima van de niet-sinusvormige spanning overeen. Daardoor ijlt echter nu de op deze wijze verkregen spanning van 38 kHz (zie fig. 7.1a) 90° in fase na. De hierdoor benodigde correctie van de fasepositie is het eenvoudigst te realiseren bij het pilootsignaal. De daartoe vereiste fasedraaiing van 45° wordt verkregen door middel van het *RC*-lid dat wordt gevormd

door de condensator C_{202} en de dynamische ingangsimpedantie van de trap met de transistor TS_{201}. In fig. 7.1d is het verloop in de tijd van het 45° vóórijlende pilootsignaal na de gelijkrichting in beeld gebracht.

Ten opzichte van het signaal van 38 kHz bedraagt de faseverschuiving nu 90°. Fig. 7.1e laat de overeenkomst zien van het signaal van 38 kHz, dat na het uitzeven van de sinusvormige grondgolf is verkregen, met de in fig. 7.1a weergegeven fasepositie.

Uit deze uiteenzetting blijkt hoe belangrijk de functie van de condensator C_{202} is. Verandert de capaciteit van deze condensator of de ingangsimpedantie van de transistor TS_{201}, dan is hiervan een afwijking in de fasedraaiing het gevolg. Het decodeerorgaan zal dan niet meer op het juiste ogenblik zijn schakelfunctie verrichten, hetgeen weer tot uiting komt in een toeneming van het overspreken. Om deze reden wordt dan ook aangeraden om met de metingen aan het decodeerorgaan eerst te beginnen, nadat de ontvanger voldoende gelegenheid heeft gehad om op temperatuur te komen (ongeveer 15 min). Bovendien moet het decodeerorgaan niet zodanig in de ontvanger zijn gemonteerd, dat het door warmte-uitstraling van andere gedeelten, bijv. van de eindtrappen, tot boven de normale werktemperatuur wordt verwarmd.

Heeft men door het achtereenvolgens controleren en instellen van de signalen van 19 kHz resp. 38 kHz, normale amplitudewaarden verkregen, dan kan men door het instellen van de faseverschuiving de overspraak tot een minimum terugbrengen. Daarbij wordt de overspraakcompensatie buiten werking gesteld, d.w.z. de weerstand R_{213} op een minimale waarde ingesteld. Bij op L resp. R geschakelde stereogenerator wordt de fasepositie door middel van het regelen van de spoel S_{106} zolang verschoven, tot een duidelijk minimum in het overspreken is bereikt. Aansluitend hierop wordt de door het systeem bepaalde overspraakverhouding door het regelen van de overspraakcompensatie door middel van de weerstand R_{213} optimaal ingesteld. Deze optimale instelling wordt bereikt door telkens tussen L en R om te schakelen en daarbij steeds de weerstand R_{213} bij te regelen. De reden voor deze werkwijze is gelegen in bepaalde verschijnselen van asymmetrie, zodat wél een optimum maar geen minimum kan worden ingesteld. Zouden er nu in het LF-signaal nog te hoge resten van de frequentie van 38 kHz voorkomen of tussen de beide kanalen verschillen in amplitude optreden, dan is dit mogelijk toe te schrijven aan defecte schakeldioden of verschillen hiertussen.

HOOFDSTUK 8

DE BENODIGDE MEET- EN ONDERZOEKAPPARATUUR

In het kader van dit hoofdstuk moet wat betreft de behandeling van de benodigde meet- en onderzoekapparatuur met het geven van enige aanwijzingen en adviezen worden volstaan. Enerzijds is het aanbod van meetapparatuur zeer veelomvattend [52] en anderzijds wordt in ieder afzonderlijk geval de hoeveelheid benodigde apparatuur door aard en omvang van de uit te voeren metingen en beproevingen bepaald. Om deze reden is het hierna volgende overzicht in hoofdzaak aan de stereogenerator gewijd, aangezien deze zich zeer wezenlijk van de tot nu toe bekende meet- en beproevingsapparatuur onderscheidt.

8.1 Algemeen gangbare apparatuur

Voor het meten en beproeven van stereoradio-ontvangers en stereo-installaties zijn behalve een stereogenerator verder de volgende meetapparaten nodig:

- Een universeel meetinstrument.
- Een elektronische voltmeter.
- Een elektronenstraaloscillograaf.
- Een kanteelspanningsgenerator.

Dat meet- en beproevingsapparatuur zorgvuldig moet worden behandeld, mag wel zo vanzelfsprekend worden geacht dat verder betoog overbodig lijkt. Niettemin verdient hierbij opmerking dat het niet voldoende is om over een aantal meetapparaten te beschikken en deze goed te verzorgen. Een zéér belangrijke bijkomende factor is de benodigde kennis om de beschikbare apparatuur ook op de juiste wijze te kunnen gebruiken. Ten aanzien van de meest voorkomende spanningsmetingen bevatten de volgende paragrafen een aantal belangrijke gegevens.

8.1.1 Meetobject en meetgrootheid

In de stereotechniek kan men het samenvattende begrip „meetobjecten" betrekken op alle apparaten, installaties en onderdelen daarvan, die dienen voor het opnemen, het overbrengen en het weergeven van geluid. Hieronder kunnen dus vallen de opneemkop van een platenspeler, de versterker en de luidspreker, of, om onderdelen van een andere reeks te noemen: de antenne, de ontvanger met decodeerorgaan en de luidspreker. Deze opsomming kan nog naar believen worden aangevuld.

Een veel voorkomende meetgrootheid is de spanning. In eerste instantie kan men ruwweg onderscheid maken tussen gelijkspanning en wisselspanning. Daar komt dan bij dat vele metingen slechts ter oriëntatie dienen, d.w.z. dat het voldoende is de grootheid bij benadering te kennen. Andere metingen hebben een veel quantitatiever strekking, d.w.z. zij moeten van de gemeten spanning een zo nauwkeurig mogelijk beeld geven. Gaat het hierbij om het meten van een gelijkspanning, dan doen zich normaal gesproken voor de technicus geen problemen voor (zie par. 8.1.2). Anders ligt de zaak reeds als de te meten grootheid een wisselspanning is. Natuurlijk lijkt er op het eerste gezicht niets „aan de hand", wanneer men „maar" met wisselspanning te doen heeft. Wisselspanning is echter een van de tijd afhankelijke grootheid en bezit als zodanig een eigenschap die wij „frequentie" noemen. Deze frequentie kan van enkele hertz tot ruim honderd Megahertz bedragen. In andere takken der techniek kunnen nog aanzienlijk hogere frequenties voorkomen, waarop wij hier echter niet verder zullen ingaan. Het gaat er hier meer om, duidelijk te maken in welk opzicht wisselspanning zich in principe van gelijkspanning onderscheidt. Door dit onderscheid doen zich bepaalde verschillen voor bij het meten van spanningen.

8.1.2 Inwendige weerstand tegenover eigen stroomverbruik

Een grote rol speelt, bij het meten van spanningen, de inwendige weerstand van het betrokken meetobject. Helaas bestaan er, in het bijzonder m.b.t. wisselspanningsmeting, zeer weinig meetobjecten met een dusdanig lage inwendige weerstand, dat zij een belasting toelaten zelfs met meetinstrumenten met een zeer lage inwendige weerstand. In verreweg het merendeel der gevallen hebben we te maken met vrij hoge waarden voor de inwendige weerstand van het meetobject, hetgeen met betrekking tot het belasten met een meetapparaat bepaalde consequenties heeft.

Tegenover de inwendige weerstand van een meetobject, bijv. van een spanningsbron, staat altijd het eigen verbruik van het gebruikte meetapparaat. Hieronder verstaat men de door het meetapparaat resp. meetinstrument opgenomen stroom. Bij meetinstrumenten, waarbij de te meten grootheid direct tot een bepaalde wijzeruitslag leidt (universeel meetinstrument), wordt dit eigen verbruik in ohm resp. kilo-ohm per volt vermeld.

Ter verduidelijking een voorbeeld: Een universeel meetinstrument heeft bijv. voor gelijkspanningsmetingen een eigen verbruik van 40 kΩ/V. Deze waarde moet met het voor een bepaald geval ingesteld meetbereik worden vermenigvuldigd, als men de weerstand van het instrument bij het desbetreffende bereik wil weten. Voor het bereik 0 . . . 12 V verkrijgt men dus een weerstand van $12 \times 40 = 480$ kΩ. Met deze weerstand wordt dus in genoemd meetbereik het eventuele meetobject belast. Ditzelfde geldt ook bij het meten van wisselspanningen. Alleen hier moet men (en dit wordt vaak over het hoofd gezien) van een andere waarde voor het eigen verbruik uitgaan. Om bij het gekozen voorbeeld te blijven: het eigen verbruik bedraagt voor wisselspanningsmetingen bij dit type 1666 Ω/V. Daaruit volgt voor het bereik 0 . . . 12 V dus een inwendige weerstand van slechts $12 \times 1666 = 20$ kΩ. Men ziet dus dat bij dezelfde omvang van het meetbereik, de weerstand van het meetinstrument nog slechts $^1/_{24}$ bedraagt van de waarde bij gelijkspanningsmeting.

Als men nu bedenkt, dat een groot gedeelte van de wisselspanningsmetingen niet alleen betrekking heeft op naar verhouding lage spanningen (met een klein meetbereik en dientengevolge ook een kleine inwendige weerstand van het meetinstrument en grotere belasting van het meetobject) maar meestal ook nog spanningen met frequenties van meer dan 10 kHz, dan is hieruit reeds duidelijk, dat het gebruiksgebied van een dergelijk universeel meetinstrument ten aanzien van wisselspanningen vrij beperkt is. In andere gevallen, waarin genoemd meetinstrument niet meer kan worden gebruikt, is het uitsluitend mogelijk correcte metingen te verrichten met behulp van een elektronische voltmeter. Bij dit type meter doet zich het probleem van het eigen stroomverbruik van het meetapparaat, dat de inwendige weerstand van het te meten object eventueel te sterk belast, niet voor. De ingangsweerstand van elektronische voltmeters is zeer hoog en blijft bij de verschillende meetbereiken in het algemeen onveranderd, zodat men tussen de verschillende meetbereiken kan omschakelen zonder verder aandacht aan dit verschijnsel te hoeven geven. Een soortgelijke

situatie zien we bij beschouwing van de ingangsweerstand van een elektronenstraaloscillograaf. De „aanwijzing" bestaat hier natuurlijk niet uit de uitslag van een wijzer, maar uit het zichtbaar maken van een of meer krommen, hetgeen bij bepaalde meetopdrachten een absoluut vereiste vorm van meten is.

8.1.3 Procentuele miswijzing

De uiteenzettingen in par. 8.1.2 kunnen eventueel bij de lezer tot een verkeerde conclusie leiden: men zou zich namelijk op het standpunt kunnen stellen, dat het toch niet absoluut nodig is, om een van de lage meetbereiken van een universeel meetinstrument te gebruiken, waarbij dan de wijzeruitslag, bij normaal verloop der meting, in het laatste derdedeel van de schaalverdeling valt. Het is immers ook mogelijk om een meetbereik te kiezen, waarbij de wijzeruitslag in het eerste derdedeel van de schaal ligt. Hierdoor zou men dan met een grotere inwendige weerstand van het meetinstrument werken en het meetobject zou dan minder belast zijn.

Ook hier weer een voorbeeld ter verduidelijking. Het ook reeds hiervoor genoemde universele meetinstrument heeft bij het meetbereik 0 . . . 12 V~ een weerstand van 20 kΩ (inwendige weerstand 1666 Ω/V), met welke weerstand een eventueel meetobject wordt belast. Een wisselspanning van 8 V zou een wijzeruitslag geven van precies 2/3 van de schaalverdeling. In het bereik 0 . . . 30 V~ zou daarentegen een meetobject met 50 kΩ worden belast, waarbij 8 V altijd nog een wijzeruitslag van bijna 27% van de schaalverdeling zou geven. Hiermede zou men toch eigenlijk zeer tevreden kunnen zijn!

Zou men nu echter volgens deze redenering te werk gaan, dan zou men een ernstige fout maken. Men zou namelijk voorbijzien aan de procentuele miswijzing. Dit begrip wordt helaas dikwijls verkeerd geïnterpreteerd. De hierop betrekking hebbende vermelding, die bijv. „miswijzing ± 3%" luidt, is gebaseerd op de hoogste waarde van het meetbereik resp. van de schaalverdeling. Er kan zich zodoende een miswijzing voordoen van + 3% of van − 3%, hetgeen bij een meetbereik van 12 V betekent, dat een in dit bereik gemeten spanningswaarde een afwijking kan hebben van ± 3% van 12 V. Aangezien 3% van 12 V overeenkomt met 0,36 V, kunnen bij de als voorbeeld genomen spanning van 8 V bepaalde afwijkingen leiden tot een aanwijzing tussen 7,64 en 8,36 V, bij gebruik van het meetbereik van

12 V. Schakelt men daarentegen het meetbereik van 30 V in, dan geldt de miswijzing van $\pm$ 3% van 30 V, hetgeen zou overeenkomen met een waarde van 0,9 V voor de mogelijke marge van de afwijking. In dit geval zou dus de mogelijkheid bestaan van aanwijzingen tussen 7,1 en 8,9 V. Toch zou in beide gevallen een miswijzing van $\pm$ 3% van het desbetreffende meetbereik gelden. Gaat men nu na in welke verhoudingen de uit de hier uitgevoerde berekeningen verkregen waarden voor de miswijzing staan tot de gemeten spanning van 8 V, dan vindt men voor de mogelijke miswijzing voor het eerste geval 4,5% en voor het tweede geval 11,25%.

8.2 De stereogenerator

In deze paragraaf worden twee stereogeneratoren behandeld, waarvan de onmisbaarheid voor metingen en beproevingen aan stereodecodeerorganen wel door geen enkele technicus in twijfel zal worden getrokken. Natuurlijk zal het eerstbehandelde type, dat in hoofdzaak bestemd is voor professionele doeleinden, voor de service-man minder interessant zijn. Toch willen wij het hier in het kort bespreken. Daarna volgt dan een behandeling van een type voor service-doeleinden.

8.2.1 De stereogenerator voor professionele doeleinden

In de gevallen, waarin men, in verband met de vereiste methode van instellen van de ontvanger, niet kan volstaan met de in hoofdstuk 7 besproken proefsignalen van de radiozenders, ontstaat de behoefte aan een stereogenerator. Bij extreem hoge eisen is men aangewezen op een stereogenerator van het type waarvan in fig. 8.1 de uiterlijke uitvoering en in fig. 8.2 het blokschema is weergegeven.

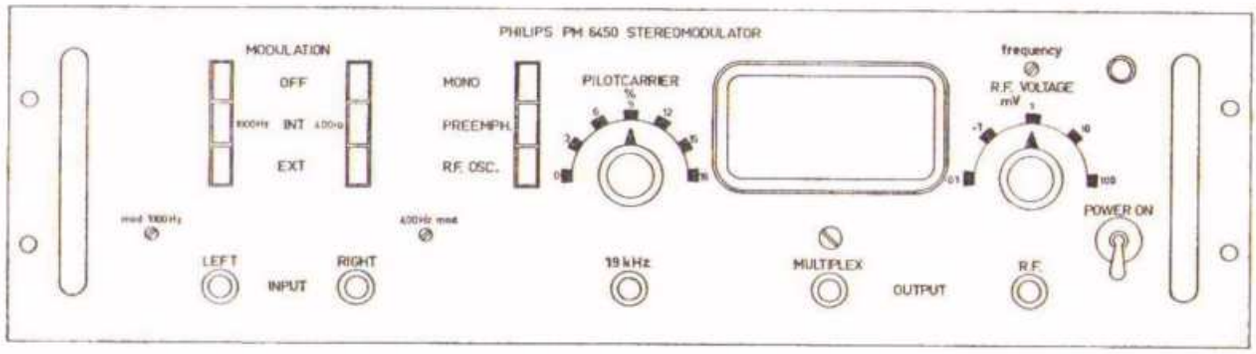


Fig. 8.1. De stereogenerator PM 6450.

De hier afgebeelde stereogenerator PM 6450, welke in hoofdzaak voor professionele doeleinden dient, bevat twee *RC*-generatoren voor 400 resp. 1000 Hz, die op de voorversterkers kunnen worden aangesloten. De beide voorversterkers hebben een pre-emfase-lid van 50 μs. Zij kunnen ook rechtstreeks op de ingangen worden geschakeld. De versterkingsfactor van de beide voorversterkers bedraagt 20 dB. Op de voorversterkers volgen twee laagdoorlatende filters, beide met een grensfrequentie van 19 kHz,

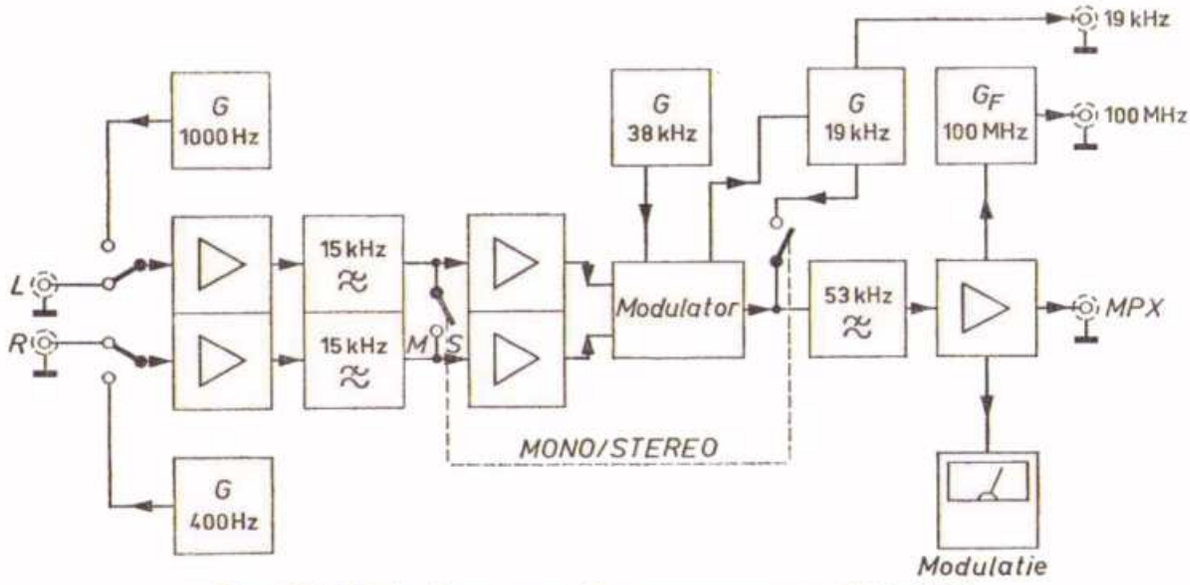


Fig. 8.2. Blokschema van de stereogenerator PM 6450.

alsmede een stuurtrap met een versterkingsfactor van 6 dB. De signalen van de *L*- en *R*-trappen en het signaal van de generator voor de hulpdraaggolf van 38 kHz worden toegevoerd aan de ringmodulator in de modulatortrap voor het opwekken van het som- resp. het verschilsignaal. Dit laatste signaal wordt op de hulpdraaggolf gemoduleerd. De draaggolf zelf wordt in deze symmetrische modulator onderdrukt. De pilootfrequentie van 19 kHz wordt opgewekt in een oscillator, welke door het signaal van 38 kHz uit de modulatortrap wordt gesynchroniseerd.

Het volledige stereosignaal komt vervolgens via een laagdoorlatend filter met een grensfrequentie van 53 kHz in de uitgangsversterker, welke een grote bandbreedte heeft en waarvan de versterking 15 dB bedraagt. De HF-oscillator, die met dit volledige streosignaal, ook wel multiplexsignaal genoemd, in frequentie wordt gemoduleerd, geeft een maximale frequentiezwaai van ± 75 kHz. De uitgangsspanning van de FM-generator kan met de continu regelbare, logarithmische, verzwakker met een constante uit-

gangsimpedantie van 75 Ω worden ingesteld. In de stand „Mono" van de functieschakelaar worden de *L*- en *R*-kanalen parallel geschakeld en het pilootsignaal uitgeschakeld, zodat alleen het somsignaal in de uitgangstrap en in de FM-eenheid terechtkomt.

8.2.2 De stereogenerator voor service-doeleinden

Voor service-doeleinden is natuurlijk niet zo'n kostbare apparatuur nodig als voor professionele doeleinden. Zo voldoet het in fig. 8.3 weergegeven handige apparaat voor serviceverlening volledig aan de eisen. De stereogenerator PM 6455 levert meetsignalen, welke in overeenstemming zijn met de geldende normen, voor het instellen van alle voorkomende stereodecodeerorganen. Door middel van het indrukken van druktoetsen kan uit de volgende signalen een keuze worden gemaakt:

1. Een stereosignaal met een enkele toonfrequentie van 1 kHz of 5 kHz in het *L*-kanaal óf in het *R*-kanaal.
2. Een stereosignaal met een enkele toonfrequentie van 1 kHz of 5 kHz in het *L*-kanaal én in het *R*-kanaal.

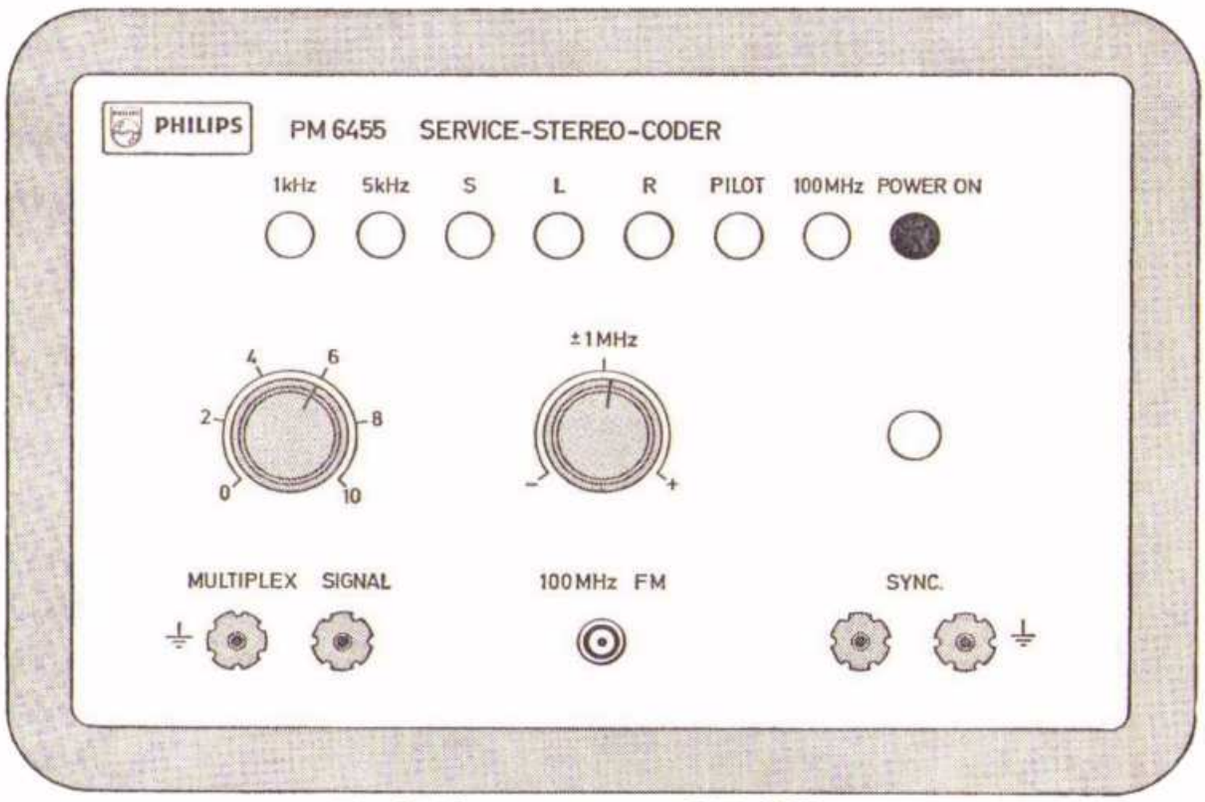


Fig. 8.3 Stereogenerator PM 6455.

3. Als bij 1. en 2., echter met de pilootfrequentie (pilootsignaal).
4. De pilootfrequentie (pilootsignaal) alleen.
5. Een HF-signaal in het FM-gebied met de hiervoor genoemde signalen gemoduleerd.

Door deze instelmogelijkheden kunnen door combinatie van de stereogenerator met een oscillograaf en een elektronische voltmeter alle functies van een stereodecodeerorgaan worden gecontroleerd. Het gaat hierbij om de instelling van de pilootfrequentie- en hulpdraaggolfkringen, de instelling van de ontvanger op minimaal overspreken alsook de instelling van de automatische stereofunctie resp. de stereo-indicatie.

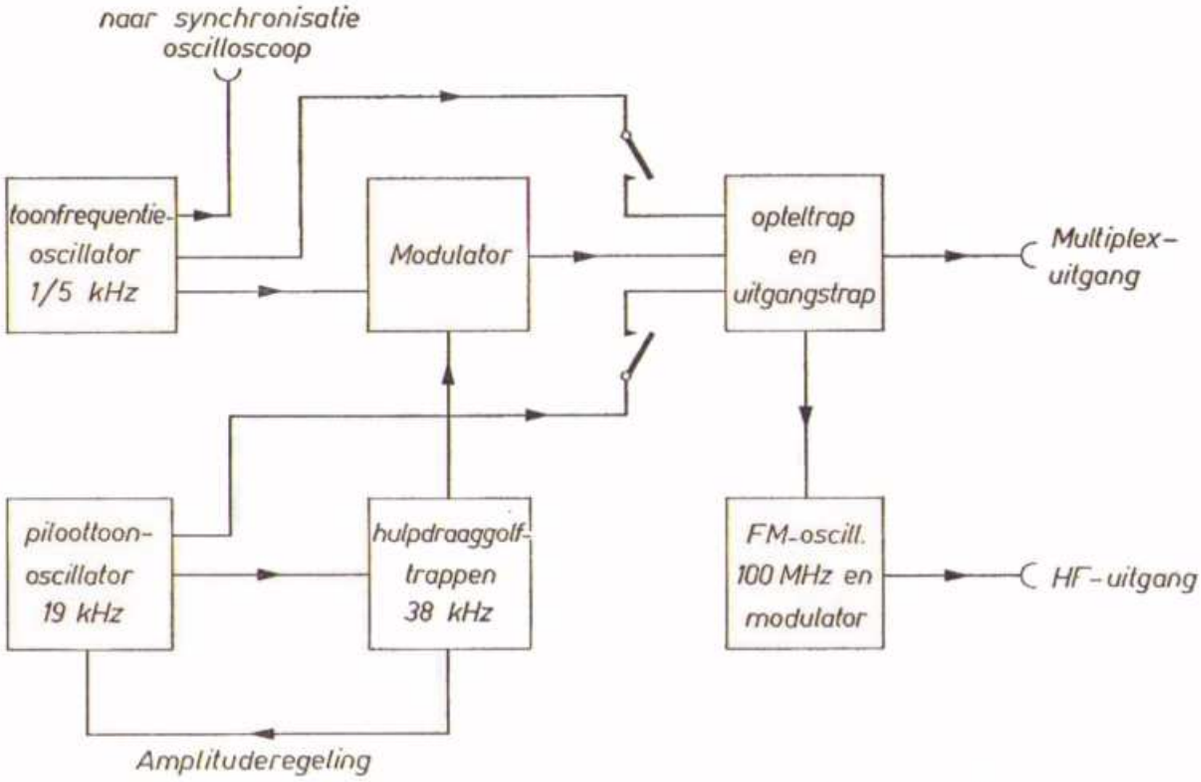


Fig. 8.4. Blokschema van de stereogenerator PM 6455.

In fig. 8.4 is het blokschema van de stereogenerator PM 6455 afgedrukt. De schakeling bestaat uit 6 eenheden. De frequenties 1 en 5 kHz worden opgewekt door middel van een brug van Wien, waarvan de capaciteiten welke de frequentie bepalen, met twee druktoetsen worden omgeschakeld. De amplituden zijn gestabiliseerd. Het pilootsignaal wordt opgewekt in een door kwartskristal gestuurde oscillator, waarvan de amplitude even-

eens gestabiliseerd is. Met twee in tegenfase zijnde signalen van 19 kHz worden de trappen voor de hulpdraaggolf gestuurd. Hierin worden, in twee gelijkrichtschakelingen, twee in tegenfase zijnde signalen opgewekt, waarin de 2e harmonische van de pilootfrequentie optreedt. Deze signalen kunnen naar verkiezing door middel van druktoetsen op de volgende trap worden geschakeld. Door fase-omkering van de hulpdraaggolf wordt de toonfrequentie tussen de *L*- en *R*-kanalen omgeschakeld.

In de modulator wordt één van de toonfrequenties met genoemd hulpdraaggolfsignaal gemultipliceerd. Nu behoeft alleen nog het pilootsignaal te worden toegevoegd. De multiplicatie geschiedt met een dusdanig geringe vervorming, dat aan de uitgang geen filters nodig zijn. In de opteltrap worden via druktoetsen het ingangssignaal van de modulator, het pilootsignaal en een der toonfrequenties lineair gesuperponeerd. Het signaal van 100 MHz wordt in een zelfgenererende oscillator opgewekt. De middenfrequentie kan ongeveer $\pm$ 1 MHz worden gevarieerd, om een eventueel op deze frequentie werkende sterke plaatselijke zender te kunnen ontwijken. De HF-oscillator is uitschakelbaar.

In hoofdstuk 7 zijn enkele principiële richtlijnen gegeven voor het meten en onderzoeken van decodeerorganen voor HF-stereofonie. Om voor de hand liggende redenen kan hiervoor geen algemeen geldend voorschrift worden gegeven. Dit is alleen al onmogelijk door de verschillen in de principes en de schakelingen van de afzonderlijke typen decodeerorganen. Men dient zich hierbij steeds te houden aan de meet- en instelvoorschriften van de fabrikant.

LITERATUUROVERZICHT

[1] N. V. FRANSSEN, *Stereofonica;* Philips Technische Bibliotheek, Kluwer Deventer, 1963

[2] W. BÜRCK, *Physiologische Akustik;* Funkschau, Jg. **36** (1964), No. 20, pag. 529–530

[3] G. J. BLEEKSMA en J. J. SCHURINK, *Een luidsprekerinstallatie voor zeer goede weergave in de huiskamer;* Philips Technisch Tijdschrift, Jg. **18** (1956), No. 10, pag. 308–319

[4] DIN 45 500

[5] N. N., *Senderstereophonie – neue Technik – vollendeter Klang;* Deutsche Philips GmbH, Hamburg, 1964

[6] N. N., *Ein Wegweiser für Tonbandfreunde;* Deutsche Philips GmbH, Hamburg, 1963

[7] *Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker*, Bd. I; Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin, 1949

[8] D. KLEIS, *Moderne geluidstechniek, Deel I Algemene grondslagen;* Philips Technisch Tijdschrift, Jg. **20** (1958), No. 9, pag. 263–281

[9] *Telefunken Laborbuch, Bd.* 1, 6e druk; Franzis-Verlag, München, 1964

[10] R. VERMEULEN, *Vergelijking tussen weergegeven en echte muziek;* Philips Technisch Tijdschrift, Jg. **17** (1955), No. 6, pag.191–197

[11] *Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker, Bd. IV;* Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin, 1957

[12] R. VERMEULEN, *Stereonagalm;* Philips Technisch Tijdschrift, Jg. **17** (1955), No. 7–8, pag. 223–231

[13] G. BÜSCHER, *Philips Lehrbriefe, Bd. II*, 5e druk; Deutsche Philips GmbH, Hamburg, 1967

[14] F. LANGFORD-SMITH, *Radio Designer's Handbook*, 4e druk; Iliffe & Sons, Ltd., London, 1953

[15] E. RODENHUIS, *Hi-Fi-versterkerschakelingen;* Philips Technische Bibliotheek, Kluwer Deventer, 1960

[16] N. N., *Vorschläge zur HF-Stereofonie* (Leserbrief); Funkschau, Jg. **36** (1964), pag. 21, No. 1548

[17] D. H. OTTO, *Mit Luftpost aus den USA, Sonst noch was Neues;* Radio Mentor, Jg. **31** (1965), 2, pag. 98

[18] DIN 45 594

[19] U. SCHMIDT, *Die vorgänge bei der Abtastung von Schallplatten;* Funk-Technik, Jg. **19** (1964), No. 23, pag. 848–850 en No. 24, pag. 887–890

[20] H. G. LICHTHORN, *Schallplattentechnik – gestern und heute;* Kontakte, No. 1 (Jan. 1965), pag. 46–52; Deutsche Philips GmbH, Hamburg
[21] DIN 45 533, 45 536, 45 537, 45 546, 45 547
[22] D. A. SNEL, *Magnetische Geluidsregistratie*, 4e druk; Philips Technische Bibliotheek, Kluwer Deventer, 1963
[23] DIN 45 512
[24] C. G. NIJSEN, *Geluid op band*, 4e druk; Kaderreeks K 2, Kluwer Deventer, 1969
[25] H. WILLERS, *Philips* 2030 – *ein neuer High-Fidelity-Plattenspieler;* Kontakte, No. 1 (Jan. 1965), pag. 33–37; Deutsche Philips GmbH, Hamburg
[26] N. N., PHILIPS *Tonbandgeräte;* Deutsche Philips GmbH, Hamburg, 1964
[27] G. SLOT, *Geluidskwaliteit;* Kaderreeks K 1, Kluwer Deventer, 1963
[28] N. N., *Stereo-Verstärker* AG 9016; Deutsche Philips GmbH, Service-Abteilung, Hamburg, 1963
[29] J. RODRIGUES DE MIRANDA, *Laagfrequentieversterker met direct gekoppelde luidspreker;* Philips Technisch Tijdschrift, Jg. **19** (1957), No. 1, pag. 1–10
[30] N. N., *Übertragerlose Transistor-NF-Verstärker mit Gegentakt-B-Endstufe für* 10 W *und* 2,5 W; Technische Informationen für die Industrie Nr. 49 (Aug. 1963); Valvo GmbH, Hamburg
[31] N. N., *Ein Stereo-Heimempfänger mit Transistoren;* Technische Informa ionen für die Industrie Nr. 72 (Dec. 1964); Valvo GmbH, Hamburg
[32] O. DICIOL, *„Hi-Fi" wird genormt;* Funkschau, Jg. **37** (1965), No. 7, pag. 163–165
[33] W. SCHMACKS, *Lautsprecher-Verzerrungen und Lautsprecher-Einbau;* Radio Mentor, Jg. **24** (1958), No. 6, pag. 387–389
[34] B. F. LOMOW, *Ingenieurspsychologie;* Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1964
[35] N. N., *Stereo-Rundfunk in den Niederlanden;* Funk-Technik, Jg. **19** (1964), No. 24, pag. 890
[36] N. N., *Impulse;* Funkschau, Jg. **36** (1964), No. 24, pag. 641
[37] N. N., *UKW-Sendertabelle;* Deutsche Philips GmbH, Hamburg, September 1962
[38] N. N., *Sender für Rundfunk-Stereophonie;* Funk-Technik, Jg. **20** (1965), No. 5, pag. 166

[39] G. JANUS, *Die amerikanische FCC-Stereo-Norm;* Funk-Technik; Jg. **16** (1961), No. 16, pag. 554–555

[40] N. N., *Fernlehrgang HF-Stereo-Technik;* Deutsche Philips GmbH, Service-Abteilung, Hamburg

[41] H. E. KADEN, *Grundsätzliches über die HF-Stereo-Technik;* messen . . . reparieren (1964), pag. 3–6; Deutsche Philips GmbH, Messgerate-Abteilung, Hamburg-Fuhlsbüttel

[42] N. N., *Zwei einfache Decoder für Stereo-Rundfunkempfänger;* Technische Informationen für die Industrie Nr. 52 (Aug. 1963); Valvo GmbH, Hamburg

[43] N. N., AM/FM-*Wechselstrom-Super Capella Reverbeo* B 7 X 43 A; Deutsche Philips GmbH, Service-Abteilung, Hamburg, 1963

[44] N. N., AM/FM-*Wechselstrom-Super Capella Stereo-Truhe* F 8 D 41 A; Deutsche Philips GmbH, Service-Abteilung, Hamburg, 1964

[45] W. SCHULTZ, *Messen und Prüfen mit Rechtecksignalen;* Philips Technische Bibliothek, Hamburg, 1966

[46] DIN 45 513

[47] N. N., *Verstärkerprüfung mit Rechteckschwingungen;* Funktechnische Arbeitsblätter Mv 71, 2e druk (April 1965); Franzis-Verlag, München

[48] A. C. J. BEERENS, *Meetapparaten en meetmethoden in de elektronentechniek*, 4e druk; Philips Technische Bibliotheek, Kluwer Deventer, 1968

[49] G. W. SCHANZ, *Reinigung des Luftspaltes dynamischer Lautsprecher leicht gemacht;* Radio-Magazin, Jg. **29** (1953), No. 1, pag. 29

[50] K. TETZNER, *Stereofonie in der Entwicklung;* Funkschau, Jg. **37** (1965), No. 7, pag. 161

[51] F. GUTSCHMIDT, *Service-Einstellungen an Stereo-Decodern;* Funk-Technik, Jg. **19** (1964), No. 1, pag. 23–24

[52] N. N., *Gesamtkatalog industrie elektronik* '66; Philips Industrie Elektronik GmbH, Hamburg, 1965

[53] G. W. SCHANZ, *Ein denkendes Röhrenvoltmeter;* Deutsches Elektro-Handwerk, Jg. **40** (1965), No. 5, pag. 147–148

[54] J. CZECH, *Oszillografen-Messtechnik;* Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin

[55] J. CZECH, *Fortschritte auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Oszillografen;* in: Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker, Bd. VII; Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin, 1964

[56] H. J. BUREMA en J. POOLE, *Largely transistorized* PM 3230 *double-beam oscilloscope;* electronic measuring and microwave notes, No. 1/1964, pag. 1–2; N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven

[57] A. BOUWENS, *A generator for the FM stereo system;* electronic measuring and microwave notes, No. 1/1964, pag. 8; N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven

TREFWOORDENREGISTER

A

aanloopband 43
aansluiting van de luidsprekers in de juiste faze 124, 127
absorptie 11
absorptiecoëfficiënt 11
achtergrondmuziek 18, 67
adapter, telefoon— 50
additieve menging 82
afronding 48
afsluitingsimpedantie 122
afslijpen 113
afstand, indruk van de 14
afstand tussen de kanalen 93
afstemindicatiebuis 106
aftastnaald 110
aftastnaald, druk 48
aftastradius 113
akoestische analysator 57
akoestisch middensignaal 71, 91
akoestische terugkoppeling 31
ambiofonie 17
amplitudegetrouwheid 119
amplitudegetrouwheid 121
amplitude 78
amplitude van de ongemoduleerde draaggolf 78
amplitudemodulatie 76
amplitudemodulatie met onderdrukte draaggolf 84
amplitudemodulatie, zuivere 83
amplitudeverschil 90
amplitudeverzwakking 118
analysator, akoestische 57
antenne 125
auditieve indruk 55

B

balansregelaar 121
bandbreedte van de zender 93
bandopneemapparaten 114
bandsnelheid 41
Berliner, Emil 34
Berlioz 1
binauraal horen 3
blanco gedeelte 114
Blümlein, A.D. 35
bovenste grensfrequentie 120
Braunmühl, von 40

C

compatibel 36, 62, 75
contrast in de geluidssterkte 26
controle van het toerental 108

D

decoderen 95
decodeerorgaan 125
decodeerorgaan, matrixprincipe . . 96
decodeerschakeling 107
diamantnaald 112
diastuurapparaat 50
dieptelokalisering 7
diepteschrift 34
diffuus geluid 18
DIN-contactstop 29
direct geluid 9, 14
doorschieten 121
draaggolf, gemoduleerde 78
draaggolfamplitude 80
draaggolffrequentie 80
druk van de aftastnaald 48
drukmicrofoon 27
drukverschilmicrofoon 27
dynamiek 26

E

EBU 63
Edison, Thomas A. 34
effecten, pseudo-stereo 20
eindtrap, transformatorloze 53

F

fase-afwijkingen 118
fasegetrouwheid 119, 121
faseverschil 90
fasevervorming 117
FCC 21
FCC-systeem 63
frequentiegebied 20
frequentiekarakteristiek 119
frequentiespectrum 72, 89
frequentieverloop 114

G

gehoordrempel 4
gehoorkromme 4
geluid, direct 9, 14
geluid, indirect 9, 14
geluid, waarnemen van de richting . 4
geluidsband 40
geluidsdrager 40
geluidsgroef 38
geluidsindruk 90
geluidsintensiteit 17
geluidsregistratie met behulp van lichtvariaties 45
geluidssterkte, contrast 26
geluidssterkte, verhouding in 14
gelijkrichtende modulator 84
geluidswaarneming, stereofonische . 1
gemoduleerde draaggolf 78
grammofoonplaat 33
grammofoonplatengroef 38
groefvernielers 110
gunstigste nagalmtijd 12

H

halfspoortechniek 42
Hi-Fi 3
hoogtelokalisering 7
hoorgebied 24
horen, binauraal 3
horen, monofonisch 3
horen, monoraal 3
horen, stereofonisch 3
hulpdipool 126
hulpsnoeren 122

I

IEC-contactstop 29
indicatie 107
indicatieschakeling 105
indirect geluid 9, 14
indruk, auditieve 55
indruk, richtings— 56
indruk van de afstand 14
informatie, som— 67
informatie, verschil— 67
ingangsadapter 122
instellen van de spleet 114
intensiteitsstereofonie 89
intensiteitsverschil 7, 56, 59
inwendige weerstand 132
isofoon 4

K

kanalenscheiding 97
kanteelsignalen 116, 119
kanteelspanningsgenerator 119
keuren van versterkers 116
klankkleurverschil 90
klankomvang 24
klankrijkdom 14
klankschoonheid 14
kopiëren 33
kunsthoofd 21, 90
kwartspoortechniek 42

L

laagste grensfrequentie 119
lager van de pickup-arm 113
langspeelplaat 35
lineaire vervormingen 20
logatomen 14
L-signaal 69
luchtspleetreiniging 124
luidspreker 54, 124
luidsprekeropstelling 59

M

matrixprincipe 104
matrixprocédé 88, 104
matrixschakeling 88

meersporentechniek 41
meetgrammofoonplaat 113
meetgrootheid 132
meetobject 132
mengprodukten 83
metronoom 127
microfoonopstelling 32
microgroef 39
middensignaal, akoestisch 71, 91
modulatieschakeling 82
monofonisch horen 3
monosignaal 71, 91
monoraal horen 3
multiplicatieve menging 82

N

naaldkracht 113
nagalmtijd 10
niet-lineaire vervormingen 20
normale groef 39

O

omhullendendetectie 96, 101
ongemoduleerde draaggolf, amplitude 78
opneemkop 40
opneem-weergeefkop 40
overspraak 130
overspraakcompensatie . 97, 99, 126, 129

P

partiële trilling 55
pilootsignaal 73, 92
pilootsignaalsysteem 62, 63
Philimilstrook 45
Philips-Miller-Systeem 45
phon 5
phonograph 34
plaatsing van de contactpennen . . 29
plaatsing van de microfoons 31
pre-emfaze-netwerk 123
procentuele miswijzing 134
proefsignalen 126
pseudo-stereo-effecten 20

R

referentieband 114
0°-richting 91
60°-richting 92
richtinghoren 1
richtingseffect 59
richtingsindruk 56
richtingskarakteristiek 27, 90
ringdemodulator 100
R-signaal 69

S

saffiernaald 112
SCA-kanaal 67
SCA-programma 67
SCA-signaal 100
scheiding van de kanalen 105
scheidingsfilter 59
sleutelgateffect 2, 21, 50
snelheid van de flanken 118
sominformatie 67
somsignaal 69, 74, 88
speelduur 41
spoorbreedte 43
spreekspoel, spanning 119
spreekspoel, stroom 119
stereo-decodeerorgaan 95
stereofonische geluidswaarneming . 1
stereofonisch horen 3
stereofonische weergave 108
stereogenerator 126, 135
stereo-pickup-kop 46
stereoproefsignalen 127
stereo-radio-uitzendingen 61
stereoscheidingsfilter 59
stereosignaal 107
stereospreider 88, 104
stof van de saffier 113
stroboscopische schijf 108
studiotechniek voor de huiskamer . 3
systeem met twee zenders 62

T

telefoonadapter 33, 50
terugkoppeling, akoestische 31
testfrequentie 114
toestand van de grammofoonplaat . 113
tongenfrequentiemeter 79
transformatorloze eindtrap 53
tijdmultiplexsysteem 64
tijdverschil 7, 56

U

uitgangsadapter 122
uitsturing van de zender 91

universeel meetinstrument 131

V

veldsterkten 126
vergelijking van geluidssterkten . . 4
verhouding in geluidssterkte 14
vermogen van een versterker 52
verschilinformatie 67
verschilsignaal 69, 88
verstaanbaarheid 12, 14
vertragingsschijf 18
vervormingen, lineaire 20
vervormingen, niet-lineaire 20
vervormingsmeter 121
vervormingsverschijnselen 116
volgorde der sporen 44
volspoortechniek 42

W

waarnemen van de richting van het geluid 4
Weber 40
weergavegetrouwheid 21
weergavekarakteristiek 123
weergavekwaliteit 51
weergeefkop 40
weerstand, inwendige 132
Willaert, Adriaan 1

Z

zaalakoestiek 8
zenderbandbreedte 93
zuivere amplitudemodulatie 83
zijbandfrequentie 81
zijdelingse lokalisering 7
zijdelingse wrijvingskracht 113

STEREO-HANDBOEK

De stereotechniek heeft tijdens de afgelopen jaren een steeds bredere toepassing gevonden en is dan ook uit de moderne geluidsregistratietechniek en hiermee verwante gebieden als bijv. de radiotechniek niet meer weg te denken. Dit brengt onvermijdelijk met zich mee, dat iedere technicus die op de een of andere wijze met de praktische geluidstechniek is betrokken, zich met deze nieuwe techniek vertrouwd moet maken. Natuurlijk ontbreekt het niet aan publikaties op dit gebied. Dit „Stereo-Handboek" is echter bedoeld om in beknopte vorm een overzicht te geven van deze nieuwe techniek, het inzicht in de materie te verdiepen en ten slotte, maar zeker niet in de laatste plaats, om richtlijnen te geven voor het doelmatig beproeven en keuren van stereo-weergeefapparatuur.

Dit „Stereo-Handboek" verschaft zijn lezerskring, waartoe zowel professionele geluidstechnici als in stereotechniek belangstellende amateurs zullen behoren, het nodige basismateriaal. Hierop voortbouwend zal de lezer zonder al te veel moeite tot een dieper inzicht in deze materie kunnen komen.

ISBN 90 201 055 74